RESEARCH STRATEGY
FOR
HOG MANURE MANAGEMENT IN CANADA

Research Branch
Agriculture and Agri-Food Canada

1998

© Department of Supply and Services Canada 1998
Cat. No. A42-77/1998E
ISBN 0-662-26811-3

Also available on the internet at: http://res.agr.ca/manurenet/

Aussi disponible en français sous le titre:
Stratégie de recherche sur la gestion du lisier de porc au Canada

FOREWORD

The hog industry is well established in Canada, and it looks toward expanding in the future. However, this sector of Canadian economy is facing a number of issues, mostly related to environment, regarding acceptance by the public and the impact on the environment.

In the spring of 1997, Agriculture and Agri-Food Canada created a multidisciplinary task force to develop effective and economically viable solutions to the environmental issues arising from hog production.

The contribution of the Research Branch to this activity has been to collate, through the expertise of a scientific focus group from research centres across the country, the available information from the international literature.

This report presents the available information and provides a research response to the environmental challenge. I hope that it will contribute to the development of solutions for the environmental issues related to the existing and future hog production in Canada.

Frank Claydon
Deputy Minister

TABLE OF CONTENTS

Foreword i
Executive Summary iii
Introduction 1
Major issues related to swine manure 2
Dealing with odors 3
Dealing with ammonia emission 5
Dealing with soil/land suitability for manure utilization 7
Dealing with phosphorus issues 9
Research contribution 11
  New technologies to address short-term concerns 11
  Research needs over the longer-term 11
Conclusions 14
Specialized Focus Group Members 14
Bibliography 15
  Dealing with odors 15
  Dealing with ammonia emission 16
  Dealing with soil/land suitability for manure utilization 18
  Dealing with phosphorus issues 21

EXECUTIVE SUMMARY

The hog industry in Canada has grown more than 400% since 1982. The 12.2 million animals in Canada produce 24.4 million tons of manure annually. The present trend in hog production, i.e., toward a greater number of animals per farm, results in excessive manure production on a small land base and greater distances to utilize manure for crop production without causing pollution. This situation has led to environmental concerns with current hog manure management.

Environmental impacts of hog production are
- objectionable odors
- nitrogen and phosphorus pollution to water
- ammonia emission to the atmosphere.

Odors are an environmental concern throughout Canada, whereas nitrogen and phosphorus pollution to water are a concern in some geographical areas or as a result of improper management of the manure. Ammonia emission is a problem in British Columbia, and it may become a problem in other areas in the future.

Minimizing odor

Odors, the most obvious complaint, come from the animal-housing manure storages, especially during mixing or following land application of the manure. Usually considered as a nuisance, odors may have a negative impact on human health. Objectionable odors are produced by fresh manure, and the intensity of these odors increases during anaerobic decomposition of the liquid manure.

The first steps toward reducing odors is to keep animals and facilities clean and to minimize manure exposure to the air during storage and land application. The second step is to incorporate cost-effective technologies already available to reduce odor during manure storage and land application. The third step includes research on
- the impact of diet amendment and feeding practices on odor emissions
- improving pig genetics to better utilize nitrogen, phosphorus, and other precursors to odorous compounds
- developing pig production and manure management systems that reduce odor production and dispersion.

Minimizing ammonia emission

Ammonia is emitted from animal housing, during manure storage, and following land application. Up to 75% of the excreted nitrogen may be lost through ammonia emission with the current pig-production systems now being built in Canada, which include lagoon storage of manure and irrigation of the manure onto land. Ammonia emission increases with temperature and manure exposure to air. Ammonia redeposition cannot be predicted and may cause acidification and nutrient imbalance in sensitive ecosystems, including surface water.

There are four possible steps toward minimizing ammonia emissions:
- incorporate manure immediately into the soil following field application
- better balance the diet with pigs requirements, alter the diets by balancing amino acids, and/or incorporate other additives that may reduce ammonia emission

- reduce the exposure of the manure to air
- conduct research on improving diets and on developing pig production and manure management systems that minimize ammonia emission.

Determining soil suitability to receive manure

In some regions the soils, because of coarse texture or drainage characteristics, are not suitable for utilizing hog manure effectively as a nutrient resource, and this problem results in a risk of pollution of water by nitrogen and phosphorus. The presence of shallow unconfined aquifers used for drinking water or the presence of ecologically sensitive streams or lakes may also influence suitability for safe location of hog farms.

Steps in determining soil suitability for manure application are:
- develop manure application guidelines so that manure nutrients are applied at rates not exceeding the capability of specific crops to utilize these nutrients
- develop alternative manure utilization systems for hog farms that have excessive manure in areas that are at high risk of surface or groundwater pollution
- develop "risk" maps identifying which soils or areas are at greatest risk and determining safe rates of manure application. This also includes encouraging hog production to develop in areas of least risk.

Reducing the risk of phosphorus pollution

Manure application guidelines based on nitrogen lead to phosphorus accumulation in soil. Long-term application to soils in Quebec, Ontario, and British Columbia have increased soil phosphorus concentrations, which in turn increases the risk of polluting water through soil erosion. Manure application also increases the water-soluble phosphorus content.

Steps toward reducing the risk of phosphorus pollution are:
- apply manure based on the ability of crops to utilize the phosphorus and at times of the year which result in minimum pollution potential
- develop feeding systems that reduce manure P by using enzymes such as phytase, or by phase feeding
- develop alternative manure-utilization systems to produce value-added products to be exported from areas at risk of water pollution.

Toward sustainable pork production

Odors and risk of water pollution by nitrogen and phosphorus are immediate concerns in Canada. Ammonia emission during pork production does not represent a sustainable system. A system approach is required to encourage an economically viable and environmentally sustainable hog production industry in Canada. Recycling manure nutrients for crop production is at present the least-cost method of manure utilization, where the land base is large enough to utilize the manure effectively. This becomes more challenging as hog production intensifies.

Five major issues/considerations for sustainable pork production include:
- developing improved feeding systems, to reduce odor, phosphorus and nitrogen excretion, and ammonia emission from the manure
- improving manure storage and application methods, to effectively utilize manure as a nutrient source for crops
- establishing manure application guidelines for soil and soil suitability criteria that consider the risk of water pollution by N, P, biological oxygen demand (BOD), and bacteria, and of accumulation of metals in soil

- developing manure treatment systems that consider all environmental concerns; e.g., manure treatment systems designed to reduce odor or "remove" N and P often promote ammonia emissions
- establishing an economically viable and environmentally sustainable pork production, through development of alternative housing and manure management systems.

INTRODUCTION

Over the past 20 years, much of the animal production in Canada has evolved from diversified to specialized and intensive production systems. The changes occurred in response to market signals, especially an increase in the demand for a different product. In several areas, this intense productivity had an impact on the conservation of agroecosystems. Hog production, in particular, showed a significant increase. This industry is perceived often negatively by the public and the media because of the concentration of production units in some regions and the nuisance and pollution problems they generate, especially in relation to the manure slurry.

On average, one hog produces approximately one ton of manure per year. Therefore, on a year-round basis, the Canadian pig population produces some 24.4 million tons of manure annually. Hog manure contains major plant nutrients and organic matter that can be utilized for efficient crop production and to enhance soil properties. However, because many production units do not often have a sufficient land base or are located away from field crop production areas, the issue of disposing of the manure adequately and in an environmentally sound manner represents significant additional costs to the industry.

Most hogs in North America are housed and raised using similar technologies. As a result, issues are also similar everywhere: odor, surface water and groundwater pollution, and NH_3 volatilization. Hog production is therefore at the origin of potential environmental problems for air, water, and soil resources. The public has high expectations regarding:

- the odors that are released from the production units and the liquid manure storage facilities, and during field application
- the high concentrations of nutrients (especially phosphorus) and heavy metals building up in the soils as a result of field application of manure, especially in the areas with a large number of production facilities
- the contamination of water bodies by nutrients and bacteria.

The department's response is outlined in *Agriculture in Harmony with Nature*, the sustainable development strategy for Agriculture and Agri-Food Canada. The plan calls for actions along four strategic directions in order to address the environmental issues. Current management practices must be reconsidered, and improved ones developed, as well as new technologies for the treatment and economical utilization of the animal manure. A soil-based approach (manure utilization for crop production) will not really solve this industry's problems. A holistic approach that considers the entire production system, from housing to feed, to manure utilization in the fields, and uptake of nutrients by crops, must be adopted in order to address problems such as odor and water contamination. This approach, aiming at reducing animal wastes and improving its characteristics, will assist in determining which part of the production system is creating major environmental problems, and also where maximum gains are achievable. At the same time, research needs for the future will become more evident.

MAJOR ISSUES RELATED TO SWINE MANURE

An overview of the situation shows common and distinct issues in the different regions, very much in relation to the agricultural context.

Odors—the common major problem related to swine production units

Odor, a problem closely linked to housing and production of hogs, and also with land application, is the most important issue. Coverage by the media results in a negative public perception of the swine industry that further decreases the tolerance of people to odors' nuisance. In some regions, the odor problem is restricting the growth of the hog industry. Therefore, it is imperative to find solutions to control odors. Solutions will come from a concerted effort to improve the current agricultural practices regarding the handling of manure and its use as a fertilizer. Major technological needs are related to:

- odor control along the hog production line (e.g., closed systems, ventilation, feed, handling in the production unit, and storage, handling, and spreading of animal wastes)
- more efficient utilization and valorization of the animal wastes (composting, treatment, fractionation, equipment, application according to crop requirement, time and techniques of application, transportation, and new uses).

Regional concerns

Atlantic Provinces

- problems related to land application of manure in conformity with environmental regulations in each province.

Quebec

- problems related to land application of manure, especially the accumulation of P in the soil and the release of P and N into groundwater and runoff.

Ontario

- loss of N as ammonia
- problems related to land application of manure and the incorporation of nutrients in the soil before they are lost
- problems related to bacteria spread on the land along with the manure, which often enter tile drains or surface water.

Prairies

- storage of liquid manure
- hog production facilities established over shallow water tables
- land suitability to receive liquid manure, in relation to soil types and nature of the vegetation.

British Columbia

- impact of manure nutrients on surface and groundwater quality
- impact of swine production on air quality (NH_3 emissions).

These concerns reflect significant regional environmental questions. Issues that seem less important

nowadays may become very important in the future. Strategies to solve environmental problems in the long-term need to identify solutions that solve rather than shift the environmental problems.

DEALING WITH ODORS

The problem

Industrialization of hog production and demographic changes in rural areas (substantial urban development onto agricultural land over the past decades) have resulted in sensitive cohabitation problems. Odors generated from pig housing, manure storage, and application in the field are major causes of conflicts between producers and their neighbors. In Quebec, for example, 10% of the complaints about odors involved farm buildings, 20% dealt with manure storages, and 70% involved land application activities. Management of manure slurry outside the production building was therefore responsible for 90% of the complaints.

Farming operations give rise to a variety of "naturally occurring" odor problems. Odorous gases are generated by the microbial breakdown of plant and animal proteins and when manure is stored under anaerobic conditions. The main sources of odors are associated with the production, handling, and processing of animal wastes, and the problem has become accentuated with the high-density, confined rearing of livestock.

Odor intensity varies with
- size and type of hog production facilities
- production practices
- location of the unit and local topography
- season and climate
- time of the day
- direction and speed of the wind
- turbulence of the air.

It is often difficult to determine which compounds, or combination of chemicals, give rise to the offense. Humans have a highly developed sense of smell, but not everyone smells the same thing. Thus the response to odor intensity is highly variable, influenced by factors like people's background, perception of hog production, and sensitivity of the olfactory system.

The complex nature of odors

- Odorous substances in animal housing are produced predominantly by volatile compounds and dust. Chemical analyses of the volatile chemicals arising from animal production have been attempted. More than 150 volatile compounds have been identified; not all compounds necessarily cause "bad" odors, and volatile compounds in the highest concentrations may not be the most unpleasant to humans. These volatile compounds originate mainly from manure slurry, wet floors, and dirty animals.

- Dust is composed of fine aerosol particles such as feed components, dried fecal material, hair, skin cells, mold, fungi, viruses, and bacteria. The dust associated with hog-production facilities amplifies the perceived odors. The concentration of some odorants may be 40,000,000 times greater on dust particles than in an equal volume of air. Dust particles are also capable of transporting odors over long distances.

- Odors from manure storage result from the anaerobic degradation of the organic fraction of the slurry. Odors are very intense during the homogenization of the content in the storage and the loading of the manure slurry spreader.

- Volatile compounds are released rapidly when manure is applied onto the land, and very strong odors are emitted in the field area. Odor emissions may reach levels that are sometimes unacceptable to the neighborhood for the serious discomfort they create.

- Another problem associated with odors is the low acceptability of manure slurry by some potential users, e.g. cash crop producers. This is a real constraint for hog farms that have to dispose of a surplus of manure. The lack of sufficient land for disposal of manure surplus often results in soil and water pollution. This issue will be addressed later.

- In some regions, the threat of odor emissions from hog operations has restricted the growth of the industry. Odor abatement is thus a major concern for hog producers. At present, there is no economical control technology available in Canada to solve the odor problems from hog operations.

- Until recently, odors were considered essentially as a nuisance problem. However, there is new evidence that odors can have also some negative effects on human health, causing nausea, headaches, sleep disturbances, upset stomach and loss of appetite, and depression. Health problems can be more serious for farm workers who are exposed continuously to odors, dust, and toxic gases. Some farm workers have developed respiratory problems such as chronic bronchitis, occupational asthma or even worse, farmer's lung disease. Because swine operations are getting larger, more workers are being exposed to these harsh conditions.

Toward a solution

1. The first essential step to achieve odor abatement is to develop and recommend best management practices and guidelines that apply to livestock buildings and manure slurry management. For example, measures that reinforce the cleanliness of farm buildings and that recommend appropriate weather conditions and timing for land application of manure slurry would have a positive effect on odor attenuation.

   Until some of the newer technologies are available to them, farmers should utilize the "Best Management Practices" already available in several provinces, for the management of the animal manure. For example:
   - keeping animals and facilities clean
   - adding manure from below to the storage pit
   - injecting or incorporating manure below the soil surface
   - applying manure when the wind is blowing away from neighbors and dwellings
   - applying manure in the morning or on cloudy days
   - using trees as windbreaks to promote upwards dispersion of odors.

2. The second step is to identify and recommend cost-effective technologies used in other countries that can be relevant to odor control and air quality, and that are applicable under Canadian climatic conditions and hog facilities management practices.

Some opportunities from research findings for manure storage facilities:

- Covering the storage tank can reduce odors by 90%.
- Adding alkaline material may reduce odors (e.g., by-products from power plants or cement plants can substantially reduce odors by increasing the pH above 9.5, thus reducing hydrogen sulfide emission; such a measure, however, has to be mitigated with the increased ammonia emission, discussed later).
- Adding sphagnum peat moss or other acidifying amendments to manure lagoons reduces odors.
- Manure from anaerobic digestion systems is less offensive than undigested waste.
- Bubbleless oxygenation reduces hydrogen sulfide production to non-detectable levels by GasTec Sensidyne dosimeter tube.
- A floating permeable blanket can allow a 90% reduction in ammonia and hydrogen sulfide.

Some opportunities from research findings for land application of manure:

- Manure would be either injected or incorporated within 24 hours of spreading. Various injection systems are being researched for injection/incorporation of liquid manure into row and field crop systems.

3. The third step is to establish a comprehensive short- and long-term research program.

Recommendations for the short-term

- Assess the potential impact of diet amendment and feeding practices on odor emissions.

  Because nitrogen is a key ingredient of ammonia and other odorous compounds, the higher the nitrogen content in the manure, the greater is the potential for odor emission. Research on feed conversion and odor control proceeds in many different directions:

  - N levels in the swine diet may affect the volatile fatty acid composition and NH_3 concentration.
  - Synthetic amino acids substituted for traditional protein sources contribute to reducing excretion of N by pigs.
  - Proteolytic enzymes in processing or dietary supplements increase protein digestibility.
  - Dietary supplements such as zeolite, bentonite, charcoal etc. can adsorb odor. Effects of the these materials on swine growth and feed conversion efficiency need further research.
  - Plant extracts, enzymes and direct fed microbials may also help to decrease odor. Yucca extracts, as feed additives, may bind ammonia and other gases and thus decrease odor emissions from slurry during storage. Beneficial effects of these additives have been shown for both hogs and poultry.

- Utilize knowledge on odor emissions, diffusion, and abatement gained from Europe and the United States.

  Knowledge of odor concentrations enables experts to establish goals and basis of comparison to improve facilities and management practices. Several techniques, e.g., gas chromatography, distillation, liquid chromatography, and specific ion traps, have been used to characterize odors and to identify its constituents. The human nose is one of the best available odor detectors in the absence of standard methods for measuring hog odors. Dynamic olfactometers dilute pungent air to different concentrations with odor-free air, and the human nose is used as the measuring device.

- Measure the efficiency, adaptability, and economics of existing technologies under local conditions.

- Evaluate the usefulness and reliability of manure slurry additives by standard methods. Such tests will indicate if an additive has disadvantageous side effects on air, soil, and water quality. For example:
    - A 68% reduction in ammonia concentrations was observed in piggeries using De-Odorase ©, but in the absence of ventilation rates, absolute ammonia emissions rates could not be calculated.
    - Added to the diet of grower pigs, De-Odorase © reduced significantly the concentration and emissions of NH_3 by 26%, but did not significantly affect the odor concentration or emissions and did not influence the rate of weight gain.

Recommendations for the long-term

The long-term activities should be oriented toward the development of solutions that have excellent potential to substantially reduce odor emissions and atmospheric pollution, as well as improving the working conditions inside the farm buildings. For example:

- gaining a better knowledge of odor emissions and dispersion mechanisms, to quantify the influence of a wide range of animal management and environmental factors and to recommend distance regulation based on operational features and geographical locations
- studying animal genetics, to develop animals more efficient in using nitrogen, phosphorus, and odor-producing compounds
- developing effective and economic technologies to deodorize swine manure slurry and reduce its negative impact on air, water, and soil quality
- finding a reproducible methodology for assessing manure odors in the laboratory.

DEALING WITH AMMONIA EMISSION

The problem

Ammonia emissions from hog manure contribute a significant loss of N. A computer model of the fate of excreted N, developed in south coastal British Columbia for their specific types of waste management and climatic conditions, demonstrated that over 40% of N excreted from hog production is lost to the air from the barn, during storage, and following field application. In that area, hog manure is generally stored under the barn or in concrete pits. The model showed that improving animal diets was the most effective method to reduce NH_3 emissions. In North Carolina, the Division of Air Quality estimates an 85–95% loss of N from hog manure facilities. In Denmark, agriculture contributes about 93% of the NH_3 emission, with 35, 20, and 40% of the NH_3 volatilization coming from animal houses, manure storage facilities, and following land spreading of the manure, respectively. Danish manure storage systems are typically under the barn or in concrete tanks.

Ammonia itself has a short residence time in the air. It may be redeposited in dry deposition as NH_3 close to the source (6–14%). Alternatively, it may be converted to NO (<1%) and form particulates of ammonium nitrate or ammonium sulfate (86–94%), which can travel distances of up to 2500 km. Most of the NH_3 is redeposited close to the source of production. In Denmark, more than 85% of the NH_3 is redeposited within 100 km of the source, with 75% and almost 100% of the redeposition occurring

within 4 km from the source during the day and night, respectively. In the Netherlands, N deposition corresponded to 68 and 42 kg N ha^{-1} at distances of 75 and 700 m from a poultry barn. NH_3 volatilization has therefore a significant effect on N supply in neighboring nutrient-poor ecosystems.

Ammonia emissions cause direct ecological and human health concerns, in addition to poor nutrient accountability and nutrient recycling. Ammonia and ammonium particulate deposition is causing eutrophication problems in surface waters and on soil ecosystems. Ammonia is a localized pollutant not likely acting as an atmospheric toxin; however, it is a precursor for ammonium particulates or aerosols, which are delocalized pollutants. Aerosols of ammonium nitrate and ammonium sulfate are particles less than 2.5 □m in diameter. These particles have been suggested to pose a significant health risk to human health with increasing atmospheric particulate concentrations. Particles of this size bypass the normal defenses of the respiratory system. The amount of NH_3 that combines with airborne acidic nitrates and sulfates to form aerosols depends on the concentration of these compounds in the air. Acidic nitrates and sulfates are produced by industry and automobiles. For example, the areas near Los Angeles and Vancouver have been noted to have significant quantities of ammonium nitrate and ammonium sulfate aerosols because of the close proximity of intensive animal production units to urban centres. In the eastern Fraser Valley of British Columbia, aerosols of ammonium nitrate and ammonium sulfate were measured to be up to 70% of the fine particulates during the summer, and have resulted in visibility impairment.

Toward a solution

Ammonia emission and its control

As discussed above, it is sometimes difficult to distinguish ammonia emission from the barn from emission during storage because, on some farms, storage pits are directly below the barn. In a recent European study, NH_3 emission from pig barns was estimated at 37–40% of the excreted N. Using an N budget approach on a hog facility in Ontario, it was estimated that 43% of the excreted N was lost from the facility, primarily as NH_3. Direct measurements of NH_3 emission from hog barns in Ontario have shown a 9–19% loss of excreted N. In terms of animal mass, the NH_3 flux ranged from 4.6 to 7.0 mg N h^{-1} kg^{-1}, a figure comparable to estimates of 2.5–6.5 mg N h^{-1} kg^{-1} from pig facilities in Scotland.

Much of the excess dietary protein is excreted in the form of urea. Urea hydrolysis starts immediately on the barn floor, causing a pH increase that results in NH_3 emission. With dairy cattle manure, NH_3 emission was highest during the first 24 hours following excretion. Ammonia emission from manure depends on the animal diet and on the exposure of manure to the air. The rate of NH_3 emission from the manure is related to temperature, air exchange, pH, depth of manure, and the length of exposure.

Improving the diets, particularly the protein content

- Phase feeding to balance amino acids in the diet is the primary strategy to reduce NH_3 emissions during hog production; this can be achieved on most existing production facilities and is one of the most effective strategies for reducing NH_3 emission.
- Improving diets has demonstrated a 26% reduction in N excreted, which also resulted in a 25% reduction in NH_3 emitted.
- Inclusion of bacterially fermentable substrates in the ration reduced NH_3 emissions by 18% during pig finishing.

Decreasing the exposure time of the animal excretions with the air

- Frequent barn cleaning using manure scrapers with separate urine channels is effective; this least cost conventional manure management system resulted in low NH_3 emissions.
- Using slurry collection pans contributed to a 30% decrease in NH_3 emission. A combination of improved diets, phase feeding, and optimal housing reduced NH_3 emission from the barn by 45%, compared with conventional feeding and housing systems.
- Deep bedding facilities for growing and finishing hogs may help reduce NH_3 emissions by 70%, compared with conventional housing, but with a net increase in N_2O, a major contributor to global-warming gas emission.

Ammonia emission during manure storage

Exposure of manure to the air is the primary factor in NH_3 emission. Unlike liquid dairy cattle manure, hog manure rarely forms a crust during storage, which results in high NH_3 emission rates. N losses in the United States during storage and handling were estimated at 60–80% from anaerobic lagoons and 30–65% from underground pits with liquid spreading. N losses of up to 95% were observed in the eastern United States in lagoon storage of liquid hog manure.

Several recommendations may be effective:

- Reducing NH_3 losses during manure storage may require a large investment for changing storage systems. In a laboratory experiment, NH_3 volatilization losses of 24% of manure total N were recorded with the use of artificial covers on liquid hog manure, compared with a 76% loss with uncovered storage. In Canada, most new hog operations in the Prairies are accompanied with large lagoons for storage. In contrast, in the Netherlands, the trend is to store liquid hog manure in enclosed pits or containers in order to minimize NH_3 loss.
- Sphagnum peat moss, sulfuric acid, and phosphoric acid contribute to reducing NH_3 emission from stored pig slurry by at least 75%.
- A covering of straw or plastic reduces NH_3 emissions by 65–70% and 77–84%, respectively, and a covering of mineral oil on the slurry reduces NH_3 emission by 34% to 90–95%.
- Reductions in NH_3 emission during fattening pig manure storage have been achieved by addition of organic acids, by manure additives, by cooling the manure, or by separation, aeration, and recirculation.
- Composting of separated hog slurry solids, solid hog manure from shallow or deep bedded hog facilities, or slurry bulked with peat or straw has been promoted as a more environmentally sustainable manure management system. However, significant emissions of NH_3 and N_2O are produced during composting of hog wastes.

Ammonia emission following field application

Ammonium-N constitutes up to 90% of the N in anaerobically stored hog manure. Following field application, pH increases when short-chain fatty acids are oxidized. This pH increase, in combination

with exposure to the air, results in a loss of N as NH_3. Ammonia emission increased when manure is applied on impervious soils, on high pH soils, and under climatic conditions with higher temperatures and greater wind speed. A wide range of values were reported: up to 90% of the ammoniacal N fraction of the manure may be lost following application to the field. In France, NH_3 emission losses from pig slurry applied to grassland or arable land ranged from 37 to 63% of the ammoniacal N in the slurry, with 83% of the emission occurring during the first 6 hours when the manure was applied at midday. Between 25 and 50% of the ammoniacal N applied in pig slurry was volatilized during the first 1.5–4 hours following application. In the Netherlands, loss of the ammoniacal N fraction of pig manure as NH_3 amounted to 36–78% following application to pasture. In the United Kingdom, 24–39% of the NH_3 lost was emitted during the first hour and 85% of the loss occurred during the 12 hours following application of slurry. All these values indicate a significant loss of N.

A solution may be found in the following:

- An effective and easily achievable strategy to reduce NH_3 emission is improved manure application, either by injection or immediate incorporation on arable soils, or using a sleigh foot on grasslands. Immediate incorporation of the hog manure is the most effective method of reducing NH_3 loss following field application of the manure. Tilling the soil before manure application also reduced NH_3 emission. Ammonia emission was 1.5 times higher following slurry application to grassland than application to arable land. Use of a sleigh foot type manure applicator on grassland has demonstrated significant reductions in NH_3 emission, and higher recovery of manure N in the grass.

DEALING WITH SOIL/LAND SUITABILITY FOR MANURE UTILIZATION

The problem

Hog manure should be regarded as a resource, and its management and utilization would be approached accordingly. Application to cropland is one of the most obvious methods of recycling plant nutrients. Plant nutrients removed from the soil in the harvested product fed to the animals are then returned in part to the soil as manure. The availability of plant nutrients from manure depends on its composition and on other factors such as management practices and soil characteristics.

A number of hog production facilities are being established on lands with lower productivity for economic reasons, in particular land price and location as close as possible to the market. Lands within classes 4 and 5 for agriculture have commonly sandy to loamy textures with frequent limitations related to wetness. These lands overlay various types of shallow aquifers and are sensitive areas from the point of view of maintaining soil and water quality. Because of these considerations, it is most important that environmentally acceptable protocols or guidelines for soil applications of hog manure be available to hog producers. The availability of a digital soil database could form the geographical basis for these guidelines, and provisional application maps could be produced using GIS technologies.

Land suitability for receiving liquid manure must take into account several parameters:

- Heavy-textured soils have low permeability and promote low rates of decomposition, hence the rate of manure application should be lower compared with coarse-textured soils that are highly

permeable and promote rapid decomposition of manure.

- High application rates of manure to coarse-textured soil may contaminate groundwater through the leaching of nutrients, whereas high application rates of manure on heavy-textured soil may be beneficial because of the high nutrient-holding capacity of these soils.
- Manure should not be applied on snow or frozen ground, particularly when the land is subject to rapid spring run-off.
- Heavily manured fields should not be summer fallowed, to avoid leaching of N and the possibility of groundwater contamination.

Information on the effects of hog manure on soil physical properties is limited. However, the effects of hog manure may be expected to be similar to those reported for cattle manure. Cattle manure improves soil aggregation, lowers bulk density, and improves structure and water holding capacity of soils due to an increased organic matter content. Changes in the chemical composition of the soil caused by application of manure are much influenced by factors such as soil texture, rate, time and method of application of manure, the amount of local precipitation, and the crops grown.

Heavy application of manure has been shown to increase NO_3-N, available P, and exchangeable K and Na more rapidly than inorganic fertilizers. Manure application also results in accumulation of NO_3-N and extractable P and Na in the subsoil. The level of accumulation increased with the rate of application. Hog manures have a lower N-to-P ratio than crop plants. Thus when N is supplied through manure to a crop, more P is applied than is required by the plants, and this may result in leaching and runoff of P. This point will be discussed in more detail later.

At high rates of application, Ca and Mg may be displaced from the exchange sites by competing ions present in the manure, such as Na^+, K^+, and NH_4+, and may be leached from the top soil with some accumulation in the deeper layers. The H^+ produced during conversion of NH_4+ to NO_3- may successfully compete for Ca- and Mg-sites on the soil colloids, and consequently lower the soil pH in the surface horizon. Salts or additives to the feed can change the manure composition, and different ions may accumulate in the soil. Manure from pigs fed high dietary Cu increased soil Cu, Zn, P, Ca and Mg levels slightly, compared with a control. Similarly, increasing dietary salt levels increased Na levels in manure and the soil.

The intensity of NO_3-N leaching following heavy application of manure depends on factors such as the rate and the period of application, the soil type, type and duration of crops grown, and rate and amount of precipitation. In temperate regions, NO_3-N concentrations in the soil solution are generally highest in May and decline during the growing season because of N uptake by the crop and leaching. The fate of manure N is influenced also to some extent by the carbon content of the manure. Thus increasing C in manure may increase the level of denitrification in the soil and can reduce the potential for nitrate contamination of groundwater. In Quebec, maximum concentration of NO_3-N occurs in late June and July. Denitrification is not particularlyC-dependent in cool and humid regions, and it proceeds as soon

as anoxic conditions are prevailing. N_2O emission is important soon after fertilizer addition, or in the 20 days following manure application. Volatilization here is much more important than denitrification, which would represent only 2–5% of the losses. Leaching of soluble nutrients, especially NO_3-N, to lower parts of the soil profile may be of greater concern when manure is applied by injection than when broadcast on the soil surface, depending on the accessibility to soil macropores.

Toward a solution

Soil suitability for hog manure application is a national and international issue. The common method of determining application rates is currently based on the capacity of the crops to take up the nutrients, most often on the N requirement for the selected crop.

- Additional considerations would improve the management of both soils and manures, and provide for environmental protection. For example, developing recommendations on soil-based application rates would be valuable for producers and commercial contractors, and would ultimately benefit the general public. Appropriate resource information using GIS techniques could be combined with data on volume and quality of manure to achieve this objective.

- Information on the capacity of soil to assimilate hog manure is limited. Research focus was more on technologies related to processing, handling, reducing, and applying manure. Existing soil and crop information can be used to develop soil-manure loading rates in the form of "risk" maps, in terms of soil, landscape, hydrology, temperature, precipitation, crop type and cropping practices, quality of manure, and time of application. Guidelines for the utilization of hog manure to sustain and enhance the productivity of agricultural and non-agricultural soils, and to provide an option for hog producers to dispose of a resource by-product, will have major impact on land management and cropping practices. Risks for loading rates can be developed.

- An objective will be to establish guidelines for rates of application based on the fate of the material applied, in order to optimize the utilization of nutrients and to minimize losses through leaching, to minimize salt and metal build-up in the soil and to protect groundwater.

- Multi-disciplinary projects bringing together the required critical expertise in areas of environmental geochemistry, landscape pedology, soil physical chemistry and microbiology will contribute significantly to the solution of the problem.

- Detailed knowledge of soil types, their chemical, physical, biological, and mineralogical characteristics as well as their spatial variability, and local climatic conditions can be used to identify probable soil-plant relationships and potential productivity.

- Research protocols should focus on the efficient use of manure as a soil nutrient enhancement, and methodologies would incorporate soil and landscape information such as soil permeability (texture and thickness), pH, organic matter content, soil temperature and moisture, and risk of surface runoff, as well as rate of biodegradation and quality of the manure (for example, nutrient and salt status and micro-element and heavy metal contents).

- Soil resource information from several provinces has been compiled into standard digital data bases suitable for analysis and display using geographic information system (GIS) technology. Soil information for Agro-Manitoba is now digitized, and is managed in standard formats for use and application in a GIS environment. Such a database can be used to facilitate extrapolation of management recommendations to farm fields and landscapes.

DEALING WITH PHOSPHORUS ISSUES

Managing animal wastes as liquid manure contributed to the rapid expansion of the hog industry in Canada, and this is likely to continue in the Prairie Provinces. In 1996, about 55% of the total hog inventory was located in Quebec and Ontario and 42% in the Prairies, mainly in Alberta and Manitoba. Liquid manure used to be spread at large application rates, and uniformity of application was a problem. Quebec may be the only province with a legislation controlling manure management. Since 1978, the law has specified the distance from buildings for the storage and the rate of spreading according to crop-N requirement. British Columbia has legislation controlling some aspects of manure management, including distance from streams and buildings, as well as field storage requirements. British Columbia also has guidelines for field application that are based on nitrogen and depend on the receiving crop.

Traditional application rates are based on N needs for the crops. This has led often to an increase in soil P level in excess of crop requirements because of the greater N-to-P ratio (average ratio of 4:1) in manure than taken up by the crops (major grain and hay crops ratio of 7:3). The problem of P accumulation in the soil is different in each part of the country. The amount of hog manure is not exceedingly abundant in the Atlantic Provinces. Phosphorous levels are a problem in Ontario, Quebec, and British Columbia. Most of the hog producers in Quebec and British Columbia do not have an adequate land base to use all the manure in an environmentally acceptable manner. Some 3000 Quebec farms are in this situation. There is a sufficient land base on the Prairies to handle the manure. Soils are considered deficient in N and P, and require annual inputs of both nutrients for optimal crop growth. The calcareous nature of these soils restricts inorganic P mobility. However, inadequate manure management creates a risk of surface water contamination by P through surface runoff on sloping land. Furthermore, excessive application of manure may increase the risk of downward movement of organic P to shallow aquifers.

The problem

Liquid manure, with a large content of soluble C and P, may lead to high water soluble P (P_w) in the plow layer and the subsoil, increasing the risk of P transport by surface and subsurface runoff. Plot studies have shown high P losses in runoff, even at recommended application rates. P migration is crop-dependent. Migration is much larger for forage crops than for corn, because the biopores are more accessible in the absence of tillage. In poorly drained, level sandy and clayey soils, tile drains can contribute to move P to the water bodies when conditions are favorable. In clay soils with cracking or shrink-swell properties, preferential by-pass flow may transport manure directly from the soil surface to the tile drains.

Studies conducted in watersheds with a high concentration of hog production units in Quebec have shown a large increase in bioavailable P content in the soil and a decrease of the P sorption capacity of soils on the hog farms. Concentrations of P much in excess of the 0.03 mg L^{-1} threshold value were found in drainage outlets and stream and river waters. At least six watersheds in the province of Quebec have a surplus of over 1 000 000 kg of N and P in comparison to crop needs. Application rates in excess of crop need lead to soil enrichment and filling of a significant part of the soil retention capacity. Increases of over 1000 kg ha^{-1} in the plow layer, 275 kg ha^{-1} in the B horizon, and 500 kg ha^{-1} in the C horizon were measured in hog farm soils, compared with the forest soils in the Beaurivage watershed in Quebec. Sediments of the Boyer River watershed, very important for smelt spawning, are saturated with P. A significant relationship between the amount of suspended solids and the total river P concentration at the outlets was found in 16 major rivers in the St.-Lawrence Lowlands. This suggested that erosion from P-enriched soils was an important process along the slopes, although preferential infiltration in level tile-drained soils was also important.

A proposed legislation in Quebec would prevent application of manure on P-rich soils, or at the minimum limit the inputs to the amount removed with the harvested plant material. This legislation, yet to be passed, could worsen the problem of excess manure in some watersheds. It could increase substantially, even double the land area required to dispose of the manure slurry.

On the Prairies, there is a need for nitrogen and phosphorus to sustain crop production. In calcareous prairie soils, soluble inorganic phosphates react quickly with calcium and magnesium to become immobile. However, only 40–50% of the P in manure is mineralized during the first year following application. Poorly managed manure application poses a risk of pollution to surface waters from phosphate runoff on sloping land or from leaching of organic phosphate into shallow aquifers.

Toward a solution

Feeding systems to reduce manure P

- Addition of phytase to hog diet may increase the utilization of feed P by 50 to 70%, and reduce the requirement of mineral P supplements (mono- and dicalcium phosphate) in hog rations.
- Cellulase addition and improved processing techniques may decrease manure P content by 5–30%.
- Adjusting feed composition to meet the nutrient requirements at defined stages of growth will decrease P excretion. However, this may have some impact on maximum animal growth.
- Increasing feed digestibility by processing techniques will reduce the excess nutrients fed to achieve maximal growth and thereby decrease excreted P by up to 5%.

Agronomic systems to monitor the impact of P

- New guidelines are needed to apply liquid manure on a P rather than on a N basis. This will result in more land being necessary to dispose of the same amount of manure.
- Site-specific soil tests, based on soil type characteristics important for P movement (e.g., slope, Al content, tile drainage, and susceptibility to soil cracking) are needed. Soil information system and GIS technology may assist in developing an integrated computerized decision-making support system that can be used easily by agronomists and farmers.
- Manure management on a watershed basis, run by farmers' associations, will be needed to coordinate and priorize the use of manure over all other sources of nutrients. Soil-specific rates have to be identified, and long-term impacts of repeated additions monitored.
- Removing the solids (5% in volume) from hog manure would reduce the phosphorus content by 50%. The liquid phase could be further treated to obtain a concentrated solution.
- Reaction with aluminum sulfate to precipitate the phosphate, as it is done with urban sewage sludges, could transform manure P in very sparingly soluble forms to be added to the soils without enriching them to a large extent in other labile nutrients. The long-term bioavailability of such compounds has to be investigated.
- An alternative is to raise pigs on litter with a highC-to-P ratio or to add liquid manure to carbon-rich materials (e.g., wood chips and pulp and paper sludges) in order to produce composts to be used off-site to restore soils with low organic matter content.

Manure management to control P accumulation

- Spreading of liquid manure in the fall without incorporation should be banned, as any significant rainfall would result in large contamination of water and sediments.
- Calibration of manure spreading equipment is necessary to ensure the addition of adequate amounts of nutrients.
- Strip-cropping systems using perennial grasses or planting of multi-storied hedgerows to act as buffers along waterways have great potential to reduce P contamination by runoff on sloping land. Such systems may also remove P from lateral subsurface water flow on shallow soils and retain windblown particles.
- Minimum tillage may reduce P losses by runoff on sloping land and increase P uptake in the Prairies where drainage water P losses are limited.
- Strategic N application in ammonia form is known to increase P uptake either directly or by increased soil P solubility.
- Recommendations would be based on the use of residual soil phosphorus coupled with small amounts of starter soluble P.
- Use of companion crops in spring cereal production may allow safe manure fall application in areas of low rainfall.
- Use of crops with high P uptake (for example, silage corn in areas with >2500 CHU, or canola in cool climate areas with < 2500 CHU).
- Use of alternate crops such as forage or forests (e.g., Sugar maple) should also be investigated.

Water management

- Conservation tillage can reduce soil and P transfer in surface runoff, although the proportion of P that

is bioavailable both in soluble and particulate forms may increase. Consequently, eutrophication-agricultural management decisions should evaluate and consider total and bioavailable P loss from the manure.

- Use appropriate methodology to estimate P bioavailability as both soluble phosphorous (SP) and bioavailable particulate P (BPP) essential to more accurately estimate the impact of hog manure spreading or agricultural management practices on the biological productivity of surface waters.
- Evaluate potential response to soil residual P from manure-amended soils in combination, with or without rotations after short- or long-term manure applications.

RESEARCH CONTRIBUTION

New technologies to address short-term concerns

- Establish standardized methodology for evaluating additives, air, soil, and water quality and offensive odors.
- Improve practices for land application of manure to reduce NH_3 emissions.
- Reduce NH_3 losses during storage.
- Develop manure management guidelines that incorporate information on the interaction between, for example, the soil and manure nutrients, impact of soil characteristics, seasonal factors, mineral interactions, surface and subsurface water movement.
- Investigate the effect of addition of carbon-rich materials to manure slurries to improve the handling characteristics of the manure nutrients.
- Evaluate adaptability and economics of implementing existing technologies.
- Evaluate phase feeding, diet composition, and diet amino-acid balance to reduce manure ammonia emissions, modify manure composition, and reduce odors emanating from the manure.
- Separate manure liquid and solids, and compost the solids to reduce gas emissions.
- Modify the hog facility design to improve manure management and control gas emissions.
- Obtain information on cycles for the nutrients present in manure and the effectiveness of their use by annual crops (also a longer-term research objective).
- Identify crops that, under Canadian climatic conditions, use nutrients in the fall, because they would allow fall application of manure and therefore decrease the total storage period.

- Continue evaluating soil types and their suitability for various methods of application.

- Increase the efficiency of utilization of dietary phosphate (phytase, cellulase, and dietary formulation) to decrease the over supplementation to meet basic requirements.

Research needs over the longer-term

Hog production, an industry with a value in excess of $2 billion, is found in all parts of Canada. It is increasing, but not at the same rate in all provinces. Overall, hog production in 1995 was 7% greater than in 1994, and much of the production is going to the export market. About 30% of the Canadian production has been exported to 55 countries, and the potential for increased hog production is real. Any increase in production will also increase the requirements for feed production, feed quality, housing, manure storage, land to spread this manure, and the ability to deal with more people affected by the hog-raising environment.

Four problems have been discussed in the previous chapters:
- odor production from hog production facilities and manure storage
- air pollution
- land suitability for manure application
- phosphorus accumulation on land where manure is spread.

These problems can be considered as short-term problems that have a possibility of significant progress being made over the next four years. Impact of hog production on water quality has also been referred to as an issue.

The long-term aspects of hog production and the associated aspects of manure handling and disposal are multifaceted. To fully address the problems, an integrated plan that deals with the whole system of hog production must be developed. The component parts will include
- feeds and feeding
- hog buildings
- hog health
- manure production and storage
- manure odors and gas production
- manure handling and spreading for the conservation of valuable nutrients
- cost effective ways of processing and /or packaging manure for subsequent usage
- impact of manure on the environment.

These issues will require ongoing work and must ultimately be addressed before the problem of hog production increase will be adequately resolved.

In order to be successful, this approach will require the participation of the private sector, producers, and agricultural engineering, along with the research groups.

Feeds and feeding

- Develop feed systems to maximize growth, minimize feed costs, and maximize profits to the producers. Producers are looking for ways of optimizing production efficiency. Other problems can be addressed through diet formulation.

- Modify the amino-acid balance in rations to reduce nitrogen levels in feces of dietary origin. Increasing the efficiency of animal feed can decrease feed costs and the amount of manure that must be handled. Modified composition of the manure will have implications for the types of fermentation that develop in the manure pit, the odors (the compounds responsible are by-products of manure ingredients), and the gas production (gases are fermentation by-products of, for example, manure nutrients and mineral recycling).

- Consider mineral complexes. Minerals in feeds are normally in the form of organo-mineral complexes. Mixing feeds may cause new organo-mineral complexes to form, which may make certain minerals less available to the animal and also make those same minerals in manure less available to the plant in the field.

Animal environment and buildings

- The key factor is adequacy of ventilation. Hogs have very specific requirements for adequate fresh air. This is essential for maintaining animal health, regulating body temperature, minimizing dust in their atmosphere, maintaining growth rates through well regulated metabolism, etc. Most of the technology concerning this part of the environment is understood, but they have to be applied to have the desired effects.

Manure storage

- Consider storage facilities. Much work has gone into establishing the proper conditions for storage of manure. Many different types of storage systems are available depending, for example, on the type of barn, the number of animals, the natural topography, and the annual rainfall. The main issue is the correct type and size of storage facility for each operation. Cost is a major factor.

- Storage and separation of manure is a factor. Storage of liquid manure requires storage and handling of large quantities of water for much of the year. If the manure is separated into liquid and solid fractions, each will be handled differently. The liquid can be concentrated, fermented, dried, used as a hydroponic medium, added to irrigation water, etc. The solids can be dried and stored at much

less cost, composted, bagged, and spread with conventional equipment.

- Combine other wastes with manure in the storage pit. Many wastes from forestry, fisheries, and agriculture may be effectively combined with manure to increase the stability of the manure or to add more nutrients to the final product.

Manure spreading

- Apply manure in the fall effectively. When the crops stop growing in the fall, application of manure is likely to have the nutrients lost with rain and surface runoff, and with spring snowmelt. Hog producers need to empty their manure storage tanks in the fall to accommodate the winter and spring production. Annual storage requirements can be as much as 9 months in some parts of Canada. This problem requires crop species that will tolerate some frost and grow late into the fall, in addition to determining the optimum time and method of spreading fall manure.

- Consider the handling methodology for wet and dry manure ingredients. This will evolve with the decision about the best methods for handling whole liquid manure or separation of the manure into solids and liquid with soluble ingredients.

- Assess the impact of soil and weather conditions on loss of manure volatile components. The impact of factors like temperature, time of day, impending precipitation, wind, relative humidity, soil type, soil surface, topography, type of manure, cropping, type of spreading equipment, and size of tractor can play a significant role in determining the efficacy of manure application.

- Adapt manure application systems under conservation tillage. Conservation tillage does not open up the soil so that surface-applied manure can be buried and protected from those factors that will take away volatile components. Similar adaptations to spreading technology are needed for spreading on perennial crops, such as forages.

- Assess the accumulation of manure borne bacteria. The impact of bacteria of animal or environmental origin that are spread with the manure is not well understood. Do they have long-term accumulated impacts on the soil and/or crops? Are the pathogens anaerobic and hence killed when spread into an aerobic environment? Is composting necessary to save reinfecting animals fed the crops that are fertilized with their own manure?

- The problem of bacteria is also an issue from the point of view of food safety.

Water

- Consider the handling of the water portion of liquid manure. This portion of the manure contains high

quantities of soluble nutrients which are readily available to plants and easily moved in the environment with surface water. As processes are developed for separating the liquid and solid portions of the manure, techniques for transporting and applying this water must also be addressed.

- Evaluate the potential for soluble nutrients and other elements (e.g. Zn and Cu) to enter the groundwater. Much of the basic data on movement of water and dissolved chemicals through different soil types is known. This needs to be summarized in an easily understandable form and presented to producers so that they will not unwittingly contaminate their groundwaters. This will also have implications for human water supplies and recycling of nutrients to livestock.

- Assess the handling of nutrients that may be part of surface water and runoff into adjacent fields, farm dugouts, or environmentally sensitive streams and rivers. This will involve studying factors like time of application, carrying capacity of soils, height of the water table, rate of incorporation of water into the soil matrix, metabolic activity of the soil, mineral interactions, and soil Ph.

CONCLUSION

A systems approach is required for economically viable and environmentally sustainable hog production in Canada.

- Minimizing NH_3 emission during hog production must occur using a system approach, that takes into account both the economic viability and the environmental sustainability. Environmental sustainability is concerned with NH_3 and greenhouse gas emission, odor, and surface and ground water contamination by nitrates and BOD. Most hog production facilities have been designed with little consideration of a cost-effective manure management based on maximizing the nutrient value of the manure and minimizing the negative environmental impacts. Considering that the size of hog production facilities is increasing in Canada, taking into account the cost of environmentally sustainable manure management is a priority.

- Reducing NH_3 emissions from manure storage facilities and following field application may increase the cost of production through increased capital cost for storage and equipment, and by the need for additional land in order to apply the manure without increasing the potential for groundwater contamination by nitrate and phosphorus.

- Improved feeding strategies may result in slightly higher feed costs but will reduce at the same time the amount of land required to apply the manure in an environmentally sustainable manner.

- Environmentally sustainable manure management has to be part of the economic equation for hog production. This may lead to the development of alternative hog production strategies, such as group

housing on bedding that can be composted and exported further from the intensive production facilities. Creativity has to be combined with the full understanding of the environmental implications of the production systems.

SPECIALIZED FOCUS GROUP MEMBERS

The following people, members of the group, participated in the preparation of the report:

Loraine Bailey, Brandon
Bruce Bowman, London
Katherine Buckley, Brandon
Roy Bush, Nappan
Robert Eilers, Winnipeg
Daniel Massé, Lennoxville
John W. Paul, Agassiz
Vernon Rodd, Nappan
Régis Simard, Ste-Foy
Christian De Kimpe, Editor, Ottawa

BIBLIOGRAPHY

DEALING WITH ODORS

Aerial Environment in Animal Housing - Concentration in and Emissions from Farm Buildings. Working Group Report Series - No. 94.1.

Al-Kanani, T., Akochi, E., Mackenzie, A.F., Alli, I., and S. Barrington. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. J. Environ. Qual. **21**: 709-715.

Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Misselbrook,T.H. and Pain, B.F. 1995. Odour and ammonia emissions from broiler houses: a farm scale study on the use of De-Odorase© and clinoptilolite zeolite. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 56-60.

Anonymous. 1995. Option for Managing Odors. A report from the Swine Odor Task Force, North Carolina Agricultural Research Service, North Carolina State University. 34 pp.

Barrington, S., 1995. Zeolite to control manure odours and nitrogen volatilization. In: Proceedings of

the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 65-68.

Barrington, S. and Moreno, R.C. 1995. Swine manure nitrogen conservation in storage using sphagnum moss. J. Environ. Qual. **24**: 603-307.

Bourque, D., Bisaillon, J.G., Beaudet, R., Sylvestre, M., Ishaque, M. and Morin, A. 1987. Microbiological Degradation of Malodorous Substances of Swine Waste under Aerobic Conditions. Applied and Environmental Microbiology, **53**: 137-141

Bundy, D.S., and Greene, G. 1995. Evaluation of alkaline by-products for the control of swine odours in manure storages. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 73-76.

Burnett, W.E. 1969. Air pollution from animal wastes. Environ. Sci. Technol. **3**: 744-749.

De Bode, M.J.C. 1990. Odour and Ammonia Emission from Manure Storage. In: Nielson, V.C., Voorburg, J.H., L'Hermite, P., eds. Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming. Elservier Applied Science, London. pp. 59-66

Donham K.J., Yeggy, J. and Dague, R.R. 1985. Chemical and Physical Parameters of Liquid Manure from Swine Confinement Facilities: Health Implications for workers, Swine and the Environnement. Agricultural Wastes 14. pp. 97-113

Dorling, T. A., 1977. Measurement of odour intensity in farming situations. Agr. Environ. **3**: 109-120.

Frost, J.P. 1994. Effect of spreading method, application rate and dilution on ammonia volatilization from cattle slurry. Grass For. Sci. **4**: 391-400.

Frus, J.D., Jazen, T.E. and Miner, J. R., 1971. Chemical oxygen demand of gaseous air contaminants. Trans. Am. Soc. Eng. **14**: 837-840.

Goodrich, P.R., Martinez, B.C., McEvoy, T.J., Arbisi, D.S., Conover, S.P., and Lam, R. 1995. Odor reduction in swine manure using bubbleless oxygenation. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 2-4.

Hammond, E.G., Fedler, C., and Smith, R.J. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. Agric Envir. **6**: 395-401.

Hangartner, M. 1988. Scaling of Odour Intensity. In: Measurement of Odour Emissions. Proceeding of a Workshop of the Ad Hoc EEC Group on Odours, Zurich, Switzerland, pp. 20-21.

Hartung, J., and Philips, V.R. 1994. Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. J. Agric. Engng Res. **57** : 173-189.

Hobbs, P., Pain, B.F., and Misselbrook, T.H. 1995. Odorous compounds and the emission rates from livestock wastes. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 5-10.

Hodgson, A.S., 1971. The elimination of odour from the effluent gases of a chicken manure drying plant. J. Agric. Engng Res. **16**: 387-393.

Jongebreur, A.A. 1977. Odor problems and odor control in intensive livestock husbandry farms in the Netherlands. Agric. Environ. **3**: 259-265.

Mensch, R.L., Johnson, J., and Nicolai, R.E. 1996. Evaluation of Commercial Manure Additive Odor

Control Products in Deep Pit Barns. ASAE paper no. 96-4090. ASAE meeting, Phoenix, Arizona, July 14-18.

Miner, J., R. 1982. Controlling Odors From Livestock Production Facilities. Published in North Central Regional Research Publication no. 284. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA 50011.

Miner, J. R., and Hongde, P. 1995. A floating permeable blanket to prevent odour escape. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 28-34.

North Carolina Swine Odour Task Force. 1995. Options for managing odor. Report from the Swine Odour Task Force.

O'Neill, D.H., Stewart, I.W., and Phillips, V.R. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings : Part 2, the costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. J. Agric. Engng Res. **51** : 157-165.

O'Neill, D.H., Phillips, V.R. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings : Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. J. Agric. Engng Res. **53** : 23-50.

Ontario Best Management Practices. 1994. Livestock and Poultry Waste Management.

Pain, B.F., Misselbrook, T.H., and C.R. Clarkson. 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically digested pig slurry on grassland. Biol. Wastes, **34**: 259-267.

Phillips, V.R., Holden, M.R., White, R.P., Sneath, R.W., Demmers, T.G.M., Wathes, C.M. 1995. Measuring and Reducing Gaseous and Particulate air Pollution from UK Livestock Buildings. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Waste. ASAE, 241-251.

Ritter, W.F., and Eastburn, R.P. 1980. Odor control in liquid swine and dairy manure with commercial products. Canadian Agricultural Engineering, **22**: 117-118.

Rom, H.B. 1993. Ammonia Emmission from Livestock Buildings in Denmark. Livestock environment IV, Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. ASAE, 1161-1169.

Schmitt, M.A., Evans, S.D., and Randall, G.W. 1995. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. J. Prod. Agric. **2**: 186-189.

Smith, R.J. 1993. Dispersion of odours from Ground Level Agricultural Sources. J. Agric. Engng Res. **54**: 187-200.

Stephens, E.R., 1971. Identification of odours from cattle feedlots. Calif. Agric. **25**: 10-11.

Sutton, A.L., Kephart, K.B., Patterson, J.A., Mumma, R., Kelly, D.T., Bogus, E., Jones, D.D., and Heber, A. 1995. Changing nitrogen levels in swine diets to reduce odors. *In:* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. October 16-18, 1995. pp. 127-130.

Sweeten, J.M. 1989. Odor Measurement Technology and Applications: A State of the art Review. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes. ASAE, 214-299.

Thomas, E.D. 1996. All about odours. *In:* Animal Agriculture and the Environment. Proceedings from

the Animal Agriculture and the Environment North American Conference. Rochester, New York, December 11-13, 1996. pp. 214-219.

Waburton, D.J., Scarborough, J.N., Day, D.L., Mueling, A.J., Curtis, S.E., and Jensen, A.H. 1980. Evaluation of commercial products for odor control and solids reduction of liquid swine manure. *In:* Livestock Waste: A renewable resource, Proceedings, 4th International Symposium on livestock Wastes, Amarillo, Texas. pp. 201-203.

Welsh, F.W., Schulte, D.D., Kroeker, E.J., and H.M. Lapp. 1977. The effect of anaerobic digestion upon swine manure odors. Can. Agric. Eng. **19**: 122-126.

Yasuhara, A. and K. Fuwa. 1983. Isolation and analysis of odorous components in swine manure. J. Chrom. **281**: 225-236.

Yasuhara A., Fuwa, K., and Jimbu, M. 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. Agric. Biol. Chem. **48**: 3001-3010.

DEALING WITH AMMONIA EMISSION

Aasman, W.A., Pinksterboer, E.F., Maas, H.F., Erisman, J.W., Waijers-Ypelaan, A., Slanina, J., and Horst, T.W. 1989. Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: Model results and measurements. Atmos. Environ. **23**: 2259.

Aasman, W.A.H., Hertel, O., Berkowiz, R., Christensen, J., Runge, E.H., Sorenson, L.L., Granby, K., Nielsen, H., Jensen, B., Gryning, S.E., Sempreviva, A.M., Larsen, S., Hummelshoj, P., Hensen, N.O., Allerup, P., Jorgensen, J., Madsen, H., Ivergaard, S. and Vejen, F. 1995. Atmospheric input to the Kattegat Strait. National Research Institute, Roskilde, Denmark.

Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A.F., Alli, I. and Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. J. Environ. Qual. **21**: 709-715.

Amon, M., Dobeic, M., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., Phillips, V.R. and Sneath, R.W. 1995. A farm scale study on the use of De-Odorase© for reducing odor and ammonia emission from intensive fattening piggeries. Bioresource Technology, **51**: 163-169.

Andersson, M. 1995. Cooling of manure in manure culverts. A method of reducing ammonia emissions in pig buildings. Specialmeddelande Institute for Agricultural Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Lund, Sweden.

Berendse, F, Laurijsen, C. and Okkerman, P. 1988. The acidifying effect of ammonia volatilized from farm manure on forest soils. Ecol. Bull. **39**: 136-138.

Brewer, R.L., Gordon, J., and Shepard, L.S. 1983. Chemistry of mist and fog from the Log Angeles urban area. Atmos. Environ. **17**: 2267-2270.

Burton, D.L. and Beauchamp, E.G. 1986. Nitrogen losses from swine housings. Agricultural Wastes, **15**: 59-64.

Derikx, P.J.L., and Aarnink, A.J.A. 1993. Reduction of ammonia emission from slurry by application of liquid top layers. In: M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, and J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, The Netherlands.

Gaider, K.M. 1997. Analysis of atmospheric ammonia as a potential atmospheric toxin. Atmospheric

Environment Branch, Environment Canada.

Groenestein, C.M. 1993. Animal waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. In: E. Collins and C. Boon, eds. Livestock Environment IV. Proceedings of a conference held in Coventry, UK. ASAE. St. Joseph, MI.

Hendriks, J.G.L., den Brok, G.M., and Voermans, M.P. 1995. Farrowing pens with low ammonia emission. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.134. Rosmalen, the Netherlands.

Hendriks, J.G.L. and Vrielink, M.G.M. 1996. Acidification of fattening pig manure with organic acids. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.148. Rosmalen, the Netherlands.

Hoeksma, P., Verdoes, N., Oosthoek, J. and Voermans, J. 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. Livestock Prod. Sci. **31**: 121-132.

Hoff, J.D., Nelson, D.W. and Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. J. Environ. Qual. **10**: 90-95.

Horlacher, D. and Marschner, H. 1990. Schatzrahmen zur beurteilung von ammoniakverlusten nach ausbringung von rinderflussigmist. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. **153**: 107-115.

Katzel, R., Einert, P., Patz, G., Ritter, G. and Strohbach, B. 1995. Recovery of Scots pine stands near the former area of nitrogen emission at Lichterfelde/Britz. I. Air quality, soil conditions, vegetation and nutrient status of Scots pine stands. Beitrage fur Forstwirtschaft und Landschaftsokologie, **29**: 5-9.

Kreuzer, M., and Machmuller, A. 1993. Reduction of gaseous nitrogen emission from pig manure by increasing the level of bacterially fermentable substrates in the ration. In: M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, and J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, The Netherlands.

Latimer, P., and Dourmad, J.Y. 1993. Effect of three protein strategies for growing-finishing pigs on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. In: M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, and J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, The Netherlands.

Liao, P.H., Chen, A., and Lo, K.V. 1995. Removal of nitrogen from swine wastewaters by ammonia stripping. Bioresource Technology, **54**: 17-20.

Lockyer, D.R., Pain, B.F., and Klarenbeek, J.V. 1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. Envion. Pollution, **56**: 19-30.

Moal, J.F., Martinez, J., Guiziou, F., and Coste, C.M. 1995. Ammonia volatilization following surface applied pig and cattle slurry in France. J. Agric. Sci. **125**: 245-252.

Muck, R.E., and Steenhuis, T.S. 1981. Nitrogen losses in free stall dairy barns. In: Proc. 4th Int. Symp. Livestock Wastes ASAE, St. Joseph, Mich. pp. 406-409.

Pain, B.F., Phillips, V.R., Clarkson, C.R., and Klarenbeek, J.V. 1989. Loss of nitrogen through ammonia volatilization during and following application of pig or dairy slurry to grassland. J. Sci. Food Agric. **47**: 1-12.

Paul, J.W. and Beauchamp, E.G. 1995. Nitrogen flow on two livestock farms in Ontario: a simple model to evaluate strategies to improve N utilization. J. Sustainable Agriculture, **54**: 35-50.

Paul, J.W., Scott, T.A., and Barton, P.K. 1997. Ammonia emissions and nitrogen balances during poultry broiler production. Pacific Agriculture Research Centre Technical Rep. 133. Agriculture and Agri-Food Canada.

Robertson, A.M., and Galbraith, H. 1971. Effect of ventilation on the gas concentration in a part-slatted piggery. Farm Building R & D Studies. (May 1971), pp. 17-28.

Rom, H.B. 1993. Ammonia emissions from livestock buildings in Denmark. In: E. Collins and C. Boon, eds. Livestock Environment IV. Proceedings of a conference held in Coventry, UK. ASAE. St. Joseph, MI.

Schulze, E.D., de Vries, W., Hauhs, M., Rosen, K., Rasmussen, L., Tamm, S.O., and Nilsson, J. 1989. Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. Water Air Soil Pollut. **48**: 451-456.

Sommer, S.G., Christensen, B.T., Nielsen, N.E., and Schjorring, J.K. 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. J. Agric. Sci. **121**: 63-71.

Sommer, S.G., Mikkelsen, H., and Mellqvist, J. 1995. Evaluation of meterological techniqes for measurement of ammonia loss from pig slurry. Agric. and Forest Meteorology, **47**: 169-179.

Ter Elste Wahle, E.R., and den Brok, G.M. 1996. Ammonia emission in a fattening pig house with application of a liquid top layer on the slurry. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.146. Rosmalen, the Netherlands.

Thompson, R.B., Ryden, J.C., and Lockyer, D.R. 1990. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. I. Influence of mechanical separation, changes in chemical composition during volatilization and presence of a grass sward. Plant and Soil, **125**: 109-118.

Van Cuyck, J., den Brok, G., and Verdoes, N. 1993. Slurry pan: on the fire or in the pig house? Praktijkonderzoek Varkenshouderij, **7**: 13-15.

Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment, and handling. In: Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes, ASAE Pub. Proc-275, ASAE, St. Joseph, MI. pp. 282-285.

Van der Molen, J., Van Fassen, H.G., Leclerc, M.Y., Vriesma, R., and Chadon, W.J. 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. I. Field estimates. Neth. J. Agric. Sci. **38**: 145-158.

Vander Peet Schwering, C.M.C., Verdoes, N., Voermans, M.P., and Beelen, G.M. 1996. Effect of feeding and housing on the ammonia emission of growing and finishing pig facilites. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.145. Rosmalen, the Netherlands.

Verboon, M.C., and Mandersloot, F. 1993. Practical possibilities for using a straw casing as covering for slurry silos. Praktijkonderzoek, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij and Paardenhouderij. No. 1.

Zebarth, B.J., Paul, J.W., Kowalenko, C.G., and van Kleeck, R. 1997. Estimation of the impact of agricultural production on water and air quality on a regional basis. (Manuscript in preparation, Pacific Agri-Food Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada).

DEALING WITH SOIL/LAND SUITABILITY FOR MANURE UTILIZATION

Agriculture and Agri-Food Canada. 1997. Sector Profile of Production, Trends and Environmental Issues.

Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A. F., Alli, I. and Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. Journal of Environmental Quality, **21**: 709-715.

Alberta Agriculture. 1984. Swine manure as fertilizer. Agdex-440/27-1. Alberta Agriculture, Edmonton, Canada.

Azevedo, J. and Stout, P. R. 1974. Farm animal manures: an overview of their role in the agricultural environment. Manual 44. California Agricultural Experiment Station Extension Service. 109 pp.

Baidoo, S.K. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp.161-168.

Barnett, G.M., and Pesant, A.R. 1996. The swine industry at the forefront of environment issues, Symposium Proceedings, Saint-Hyacinthe, Québec. pp. 1-9.

Beauchamp, E.G. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. Can. J. Soil Sci. **63**: 377-386.

Beauchamp, E.G., Kidd, G. E., and Thurtell, G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. Can. J. Soil Sci. **62**: 11-19.

Bernal, M.P. and Kirchmann, H. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. Biology and Fertility of Soils, **13**: 135-141.

Brumm, M.C. and Sutton, A.L. 1979. Effect of copper in swine diets on fresh waste composition and anaerobic decomposition. J. Animal Sci. **49**: 20-25.

Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Cummings, G.A., Overcash, M.R. and Goode, L. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: I. Forage yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **14**: 9-14.

Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Overcash, M.R. and Cummings, G.A. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture: I. Persistence, yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **16**: 99-105.

Burns, J.C., King, L.D. and Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' Bermudagrass: I. Yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **19**: 749-756.

Burton, D.L., Younie, M.F., Beauchamp, E.G., Kachanoski, R.G. and Loro, P. 1994. Impact of manure application on nitrate leaching to groundwater. In: Proc. 37th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Dept. of Soil Sci., University of Manitoba, Winnipeg. Canada. 190-201.

Chase, C., Duffy, M. and Lotz, W. 1991. Economic impact of varying swine manure application rates on continuous corn. Journal of Soil and Water Conservation, **46**: 460-464.

Elson, J. 1941. A comparison of the effect of fertilizer and manure, organic matter, and carbon-nitrogen ratio on water-stable soil aggregates.Soil Sci. Soc.Am. Proc. **6**: 86-90.

Evans, S.D., Goodrich, P.R., Munter, R.C. and Smith, R.E. 1977. Effects of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristics and on growth, yield, and composition of corn. Journal of Environmental Quality, **4**: 361-368.

Ewanek, J. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp. 93-100

Food and Agriculture Organization (FAO). 1993. FAO Agrostat PC. FAO Computerized Information Series Statistics. Production. Rome, 1993.

Franco, D., Pereilli, M., and Scallolin, M.. 1996. Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, their Processes and Potential in Water Protection, Heythrop, UK

Freeze, B.S. and Sommerfeldt, T.G. 1985. Breakeven hauling distances for beef feedlot manure in southern Alberta. Can. J. Soil Sci. **65**: 687-693.

Gilbertson, C.B., Van Dyne, D.L., Clanton, C.J., and White, R.K. 1979. Estimating quantity and constituents in livestock and poultry manure residue as reflected by management systems. Transactions of the ASAE, **22**: 602-611.

Hafez, A.A.R. 1974. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. Soil Science, **118**: 53-59.

Hilborn, D. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp.101-105.

Hoff, J.D., Nelson, D.W. and Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. Journal of Environmental Quality, **10**: 90-95.

Humenik, F.J., Skaggs, R.W., Willey, C.R., and Huisingh, D. 1972. Evaluation of swine waste treatment alternatives. In Waste Management Research.. Graphics Corporation, Washington, D. C. pp. 341-352.

Khan, N. 1996. Feed Mix, **4**:22-25.

King, L.D., Westerman, P.W., Cummings, G.A., Overcash, M.R. & Burns, J.C. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: II. Effects on soil. Journal of Environmental Quality, **14**: 14-21.

King, L.D., Burns, J.C., and Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. Journal of Environmental Quality, **19**: 756-760.

Klausner, S.D., and Guest, R.W. 1981. Influence of NH_3 conservation from dairy manure on the yield of corn. Agronomy Journal, **73**: 720-723.

Kornegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C., and Kramer, C.Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. Plant and Soil, **45**: 151-162.

Larson, B.G. 1991. Saskatchewan pork industry manure management recommendations. Saskatchewan Pork Producers' Marketing Board, Saskatoon, SK. 30 pp.

Lauer, D.A., Bouldin, D.R., and Klausner, S.D. 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. Journal of Environmental Quality, **5**: 134-141.

Long, N.J., and Gracey, H.I. 1990. Herbage production and nitrogen recovery from slurry injection and fertilizer nitrogen application. Grass and Forage Science, **45**: 77-82.

Lorenz, F., and Steffens, G. 1992. Agronomically efficient and environmentally careful slurry application to arable crops. Aspects of Applied Biology, **30**: 109-116.

McEachron, L.W., Zwerman, P.J., Kearl, C.D., and Musgrave, R.B. 1969. Economic return from various land disposal systems for dairy cattle manure. In: Animal Waste Management. Proceedings Cornell University Waste Management Conference 13-15 Jan. 1969. Syracuse N.Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 393-400.

McKenna, M.F., and Clark, J.H. 1970. The economics of storing, handling and spreading of liquid hog manure for confined feeder hog enterprises. In: Relationship of agriculture to soil and water pollution. Proc. Cornell Un. Agr. Waste Management Conference 19-21 Jan. 1970. Rochester, N. Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 98-110.

Menzies, J.D., and Chaney, R.L. 1974. Waste Characteristics. In Factors Involved in Land Application of Agricultural and Municipal Wastes. USDA, ARS.

Miller, P.L., and MacKenzie, A.F. 1978. Effects of manures, ammonium nitrate and S-coated urea on yield and uptake of N by corn and on subsequent inorganic N levels in soils in southern Quebec. Can. J. Soil Sci. **58**: 153-158.

Pet□ková, V. 1992. Hnojení p□ biologické rekultivaci d□lních výsypek a slo□□st popel□ (Fertilizer for biological reclamation of mine spoil and ash dumps). Rostlinná Výroba, **38**: 327-335.

Powers, W.K., Wallingford, G.W., and Murphy, L.S. 1975. Research status on effects of land application on animal wastes. Environmental Protection Technology Series, EPA 660/2-75-010. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. pp. 44-46.

Pries, J. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp.119-126.

Richards, J.E., and Martel, Y.A. 1991. Agronomic management of manure - A position paper. In: Expert Committee on Soil and Water Management. Research Station, Research Branch, Agriculture Canada, Fredericton, N.B. Canada.

Safley, L.M., Jr., Lessman, G.M., Wolt, J.D., and Smith, M.C. 1981. Comparisons of corn yields between broadcast and injected applications of swine manure slurry. In: Livestock Waste: a renewable resource. Proc. Int. Symposium on Livestock Wastes, Amarillo, Texas 15-17 Apr. 1980. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. pp. 178-180.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., and Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. J. Environ. Qual. **24**: 1010-1017.

Simard, R.R., Hamel, C., and Garand, M.J. 1996. The swine industry at the forefront of environment issues, Symposium Proceedings, Saint-Hyacinthe, Québec. pp. 31-41.

Sommerfeldt, T.G., and Chang, C. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. Soil Sci. Soc. Amer. J. **49**: 983-987.

Sutton, A.L., Mayrose, V.B., Nye, J.C., and Nelson, D.W. 1976. Effect of dietary salt level and liquid handling systems on swine waste composition. J. Animal Sci. **43**: 1129-1134.

Sutton, A.L., Nelson, D.W., Mayrose, V.B., and Nye, J.C. 1978. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. Journal of Environmental Quality, **7**: 325-333.

Sutton, A.L., Nelson, D.W., Hoff, J.D., and Mayrose, V.B. 1982. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. Journal of Environmental

Quality, **11**: 468-472.

Sutton, A.L., Melvin, S.W., and Vanderholm, D.H. 1984. Fertilizer value of swine manure. AS-453. Iowa State Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. 6 pp.

Sutton, A.L, Nelson, D.W., Mayrose, V.B., Nye, J.C., and Kelly, D.T. 1984. Effects of varying salt levels in liquid swine manure on soil composition and corn yield. Journal of Environmental Quality, **13**: 49-59.

Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G., et Rompré, M. 1990. Rapport synthèse, Ministère de l'Agriculture, de Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Tiarks, A.E., Mazurak, A.P., and Chesnin, L. 1974. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. Soil Sci. Soc.Am. Proc. **38**: 826-830.

Unger, P.W., and Stewart, B.A. 1974. Feedlot waste effects on soil conditions and water evaporation. Soil Sci. Soc.Am. Proc. **38**: 954-957.

Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment and handling. In: Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symposium on Livestock Wastes, Urbana-Champaign, Ill. 21-24 Apr. 1975. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. pp. 282-285

Wallace, H.D., McCall, J.T., Bass, B., and Combs, G.E. 1960. High level copper for growing-finishing swine. J. Animal Sci. **19**: 1153-1163.

Warman, P.R. 1986. Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge on timothy and soils. Journal of Environmental Quality, **15**: 95-100.

Webber, L.R., Lane, T.H., and Nodwell, J.H. 1968. Guidelines to land requirements for disposal of liquid manure. Paper presented at the 8th Ind. Water and Wastewater Conf., Lubbock, Texas (June 6-7, 1968). 13 pp.

Weil, R.R., and Kroontje, W. 1979. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. Journal of Environmental Quality, **8**: 387-392.

Westerman, P.W., Overcash, M.R., Evans, R.O., King, L.D., Burns, J.C., and Cummings, G.A. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: III. Irrigation and rainfall runoff. Journal of Environmental Quality, **14**: 22-25.

Williams, R.J.B., and Cooke, G.W. 1961. Some effects of farmyard manure and of grass residues on soil structure. Soil Science, **92**: 30-39.

Xie, R., and MacKenzie, A.F. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. Soil Sci. Soc. Amer. J. **50**: 1504-1509.

Zhu, Y.M., Berry, D.F., and Martens, D.C. 1991. Copper availability in two soils amended with eleven annual applications of copper-enriched hog manure. Communications in Soil Science & Plant Analysis, **22**: 769-783.

DEALING WITH PHOSPHORUS ISSUES

Barnett, G.M. 1996. Animal Waste in Canada. *In:* C. Chang, ed. Proc. Can. Soc. of Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 28-45.

Beauchemin, S., Simard, R.R., and Cluis, D. 1996. Phosphorus sorption-desorption kinetics of soil under contrasting land uses. Journal of Environmental Quality, **25**:1317-1325.

CPVQ. 1995. Coefficients d'efficacité des engrais de ferme. Bulletin technique 22. AGDEX 538. Québec, QC, 18 pp.

Gangbazo, G., Pesant, A.R., and Barnett, G.M. 1997. Effet de l'épandage des engrais minéraux et de grandes quantités de lisier de porc sur l'eau le sol et les cultures. Rapport de Recherche , direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec, QC. 46 pp.

Grimard, Y. 1990. Qualité générale de l'eau au Québec. *In:* "Colloque sur la qualité de l'eau en milieu agricole". Conseil des productions végétales du Québec, Québec, QC. pp. 24-37.

Ordre des Agronomes du Québec. 1996. Mise à jour sur le projet de règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole. 96-03-28. 6 pp.

Patoine M. 1995. Perspectives et approche du Québec pour faire face à la problématique environnementale associée à l'intensification et la concentration des élevages.
In: Siting livestock and poultry operations in the 21th Century Symposium, July 13-14 Ottawa, Canada.pp. 45-62.

Simard, R.R. 1996. Manure management in Québec: the urgent need for solutions. *In:* C. Chang (ed.) Proc. Can. Soc. Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 65-80.

Simard, R.R. 1997. Étude de la qualité de l'eau, des sédiments et des sols du bassin-versant de la rivière Boyer. Rapport préliminaire, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 17 pp.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., and Pesant, A. 1994. Phosphorus in the Beaurivage River Watershed. *In:* R.N. Yong (ed.) Proc. Joint CSCE-ASCE Natl. Conf. on Environ. Eng., Montreal, QC. pp. 509-516.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., and Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. Journal of Environmental Quality, **24**:1010-1017.

Simard, R.R., Drury, C.F., and Lafond, J. 1996. Cropping effects on phosphorus leaching in clay soils. Better Crops with Plant Food, **80**: 24-27.

Simoneau, M. 1996. Qualité des eaux du bassin de la rivière Châteauguay, 1979 à 1994. Direction des écosystèmes aquatiques. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec, QC.

Sims, J.T., Simard, R. R., and Joern, B. C. 1997. Phosphorus losses in agricultural drainage: historical perspective and current research. Journal of Environmental Quality **26**: (in press).

STRATÉGIE DE RECHERCHE SUR LA GESTION DU LISIER DE PORC AU CANADA

Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada

STRATÉGIE DE RECHERCHE SUR LA GESTION DU LISIER DE PORC AU CANADA

Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
1998

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1998
No de cat. A42-77/1998F
ISBN 0-662-82894-1

Aussi disponible sur internet : http://res.agr.ca/manurenet/

Also available in English under the title:
Research Strategy for Hog Manure Management in Canada

AVANT-PROPOS

L'industrie du porc est solidement implantée au Canada, et on y entrevoit l'avenir avec optimisme. Toutefois, ce secteur de l'économie canadienne fait face à des problèmes, en grande partie d'ordre environnemental, au plan de l'image projetée au sein de la population et sur ses effets sur l'environnement.

Au printemps 1997, Agriculture et Agroalimentaire Canada mettait sur pied un groupe de travail chargé d'apporter des solutions à la fois efficaces et économiquement viables aux problèmes d'environnement suscités par la production porcine.

La Direction générale de la recherche a été appelée à réunir les renseignements publiés sur le sujet à l'échelle internationale par l'entremise d'un groupe de consultation scientifique en provenance de centres de recherches de partout au pays.

Le présent rapport fait état des renseignements dont on dispose en plus d'offrir une réponse au défi environnemental fondée sur la recherche. J'ai bon espoir qu'il suscitera des solutions aux problèmes d'environnement auxquels la production porcine demeure confrontée.

Le Sous-ministre

Frank Claydon

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos i
Résumé iii
Introduction 1
Principaux problèmes liés au lisier de porc 2
Les odeurs 3
Les émissions d'ammoniac 6
L'adéquation des sols ou des terres à l'épandage du lisier 8
Le phosphore 10
Contribution de la recherche 13
  Nouvelles techniques pour résoudre les problèmes à court terme 13
  Besoins en recherche à long terme 13
Conclusion 16
Membres du groupe de consultation 16
Bibliographie 17
  Les odeurs 17
  Les émissions d'ammoniac 18
  L'adéquation des sols ou des terres à l'épandage du lisier 20
  Le phosphore 23

RÉSUMÉ

L'industrie du porc a connu une croissance de 400 % depuis 1982. Les 12,2 millions d'animaux que compte le Canada produisent 24,4 tonnes de lisier annuellement. La tendance actuelle en matière de production porcine (un plus grand nombre d'animaux par ferme) amène une production excessive de lisier par rapport aux terres disponibles. Il faut donc transporter le lisier sur de plus grandes distances si on veut l'utiliser à des fins culturales sans générer de pollution. Or, la gestion actuelle du lisier de porc soulève certaines préoccupations environnementales.

La production porcine est notamment associée à
- des odeurs désagréables,
- la pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore
- des émissions d'ammoniac dans l'atmosphère.

Les odeurs constituent une préoccupation environnementale dans tout le Canada, tandis que la pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore est un problème dans certaines régions ou résulte d'une mauvaise gestion du lisier. Les émissions d'ammoniac posent problème en Colombie-Britannique et pourraient devenir préoccupantes dans d'autres régions dans le futur.

Réduction des odeurs

Les odeurs, le sujet de plaintes le plus courant, proviennent des porcheries, des installations d'entreposage du lisier, particulièrement pendant les périodes de brassage, et des épandages du lisier. Considérées généralement comme une nuisance, les odeurs peuvent avoir un effet négatif sur la santé humaine. Des odeurs désagréables sont produites par le lisier frais, mais leur intensité augmente pendant la décomposition anaérobie du lisier.

La première mesure de réduction des odeurs consiste à assurer la propreté des animaux et des installations et à réduire au minimum l'exposition à l'air du lisier pendant l'entreposage et l'épandage. La seconde mesure réside dans l'adoption de techniques rentables disponibles pour réduire les odeurs pendant l'entreposage et l'épandage. La troisième mesure vise entre autres
- à mener des recherches sur l'incidence des modifications au régime alimentaire et aux pratiques d'alimentation sur les émissions d'odeurs
- à chercher à améliorer la génétique des porcs en vue d'une meilleure utilisation de l'azote, du phosphore et d'autres précurseurs de composés odorants
- à mettre au point des systèmes de production porcine et de gestion du lisier susceptibles de réduire la production et la diffusion d'odeurs.

Réduction des émissions d'ammoniac

Les émissions d'ammoniac proviennent des porcheries, des installations d'entreposage et de l'épandage du lisier. Jusqu'à 75 % de l'azote excrété peut être perdu par les émissions d'ammoniac dans les systèmes de production porcine en place actuellement au Canada, qui recourent entre autres à l'entreposage du lisier dans des bassins et à l'épandage du lisier avec des systèmes d'irrigation. Les émissions d'ammoniac augmentent avec la température et l'exposition du lisier à l'air. La resédimentation de l'ammoniac ne peut être prédite et peut amener une acidification ainsi qu'un déséquilibre des éléments nutritifs dans les écosystèmes sensibles, y compris les eaux de surface.

Il existe quatre façons de réduire les émissions d'ammoniac :
- incorporer le lisier au sol immédiatement après l'épandage,
- mieux équilibrer le régime alimentaire des porcs en fonction de leurs besoins; modifier les régimes

alimentaires en équilibrant les acides aminés ou en incorporant d'autres additifs susceptibles de réduire les émissions d'ammoniac,
- réduire l'exposition du lisier à l'air,
- mener des recherches pour améliorer les régimes alimentaires et mettre au point des systèmes de production porcine et de gestion du lisier qui réduisent les émissions d'ammoniac.

Détermination de l'adéquation des sols à l'épandage du lisier

Les sols de certaines régions, en raison de leur texture grossière ou de leurs caractéristiques d'égouttement, ne conviennent pas à l'utilisation efficace du lisier de porc comme source d'éléments nutritifs. De tels sols présentent un risque de pollution de l'eau par les nitrates ou le phosphore. La présence à faible profondeur d'aquifères utilisés comme source d'eau potable ou encore de ruisseaux ou de lacs écosensibles peut également rendre un emplacement impropre à une ferme porcine.

Les mesures pouvant assurer l'adéquation des sols à l'épandage du lisier sont les suivantes :
- formuler des directives concernant l'épandage du lisier faisant en sorte que les éléments nutritifs contenus dans le lisier n'excèdent pas les besoins de la culture,
- prévoir d'autres débouchés pour le lisier des fermes porcines qui ont des surplus et qui sont situées dans des régions où les risques de pollution des eaux de surface et souterraines sont élevés,
- établir des cartes « des risques » identifiant les sols ou les régions les plus à risque et indiquant les taux d'épandage sécuritaires. Il faut aussi favoriser l'établissement d'exploitations porcines dans les régions à moindre risque.

Réduction des risques de pollution par le phosphore

Les lignes directrices sur l'épandage du lisier basées sur l'azote ont entraîné une accumulation de phosphore dans le sol. L'épandage à long terme au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique a augmenté les concentrations de phosphore dans le sol, augmentant du même coup le risque de pollution de l'eau par l'érosion du sol. L'épandage du lisier accroît également les concentrations de phosphore hydrosoluble.

Les mesures visant à réduire le risque de pollution par le phosphore sont les suivantes :
- planifier les épandages du lisier en fonction de la capacité des cultures à utiliser le phosphore et les effectuer à des périodes de l'année présentant un moins grand risque de pollution
- mettre au point des systèmes d'alimentation qui réduisent la teneur en phosphore du lisier, notamment par l'utilisation d'enzymes comme la phytase ou par une alimentation adaptée au stade de croissance des porcs
- trouver d'autres débouchés pour le lisier par la mise au point de produits à valeur ajoutée exportables en dehors des régions où les risques de pollution de l'eau sont élevés.

Vers une production porcine durable

Les odeurs et les risques de pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore sont des préoccupations de premier ordre au Canada. Les émissions d'ammoniac liées à la production porcine ne jouent pas en faveur d'un système durable. Il faut adopter une approche par systèmes de production si l'on veut soutenir une industrie de la production porcine économiquement et écologiquement viable au Canada. Le recyclage des éléments nutritifs dans les cultures est actuellement la méthode la moins coûteuse d'utiliser le lisier, lorsque les ressources en terres sont suffisantes pour permettre une utilisation efficace du lisier; cette méthode pose cependant de plus en plus de problèmes à mesure que la production porcine s'intensifie.

Voici cinq points importants qu'il faut prendre en considération pour une production porcine durable :
- systèmes d'alimentation améliorés pour réduire les odeurs, l'excrétion de phosphore et d'azote et les émissions d'ammoniac par le lisier

- utilisation efficace du lisier comme source d'éléments nutritifs pour les cultures par de meilleures méthodes d'entreposage et d'épandage du lisier
- établissement de lignes directrices et de critères concernant l'adéquation des sols à l'épandage du lisier qui tiennent compte du risque de détérioration de l'eau par les nitrates, le phosphore, la demande biologique en oxygène (DBO) et les bactéries ainsi que d'accumulation de métaux dans le sol
- systèmes de traitement du lisier qui tiennent compte de toutes les préoccupations environnementales : les traitements visant à réduire les odeurs ou à « éliminer » l'azote et le phosphore favorisent souvent les émissions d'ammoniac
- nouveaux systèmes de stabulation et de gestion du lisier nécessaires pour une production porcine économiquement et écologiquement viable.

INTRODUCTION

Au cours des vingt dernières années, une bonne partie des fermes d'élevage canadiennes sont passées d'une production diversifiée à une production spécialisée et intensive. Ces changements se sont produits en réponse aux signaux du marché, particulièrement devant une demande accrue pour un nouveau produit. Dans plusieurs régions, cette intensification de la production a eu un effet sur la conservation des agroécosystèmes. La production porcine, en particulier, a connu une hausse sensible. Cette industrie est souvent perçue négativement par le public et les médias en raison de la concentration des unités de production dans certaines régions ainsi que de la nuisance et des problèmes de pollution qu'elle génère, particulièrement en rapport avec le lisier.

En moyenne, un porc produit environ une tonne de lisier par année. La population de porcs du Canada produit donc annuellement quelque 24,4 millions de tonnes de lisier. Le lisier de porc contient des éléments nutritifs importants et de la matière organique pouvant être utilisés pour les productions végétales et pour l'enrichissement des sols. Toutefois, comme de nombreuses unités de production ne disposent pas de ressources en terres suffisantes ou sont situées loin des régions de production végétale, l'élimination adquate et écologique du lisier amène des coûts supplémentaires non négligeables.

En Amérique du Nord, les techniques de stabulation et d'élevage des porcs sont à peu près partout les mêmes, de telle sorte que les problèmes sont aussi les mêmes : odeurs, pollution des eaux de surface et souterraines et volatilisation de l'ammoniac. La production porcine est donc à l'origine de problèmes potentiels pour les ressources en air, en eau et en sol; le public a des attentes élevées concernant :

- les odeurs émises par les unités de production et les installations d'entreposage du lisier et durant l'épandage
- les fortes concentrations d'éléments nutritifs (surtout de phosphore) et de métaux lourds qui s'accumulent dans les sols à la suite de l'épandage du lisier, particulièrement dans les régions comptant un grand nombre d'unités de production
- la contamination des nappes d'eau par les éléments nutritifs et les bactéries.

La réponse du Ministère est décrite dans « Agriculture en harmonie avec la nature », la stratégie de développement durable d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le plan propose l'adoption de quatre orientations stratégiques pour résoudre les questions environnementales. Les pratiques de gestion actuelles doivent être réexaminées et de meilleures pratiques doivent être mises au point, en même temps que de nouvelles techniques pour le traitement et l'utilisation économique du fumier des animaux. Une approche basée sur les sols (utilisation du fumier pour les productions végétales) ne résoudra pas véritablement les problèmes de l'industrie; une approche holistique qui tient compte de tout le circuit de production, du mode de stabulation à l'alimentation des porcs, en passant par l'utilisation du lisier dans les champs et l'assimilation des éléments nutritifs par les cultures, doit être adoptée pour régler des problèmes comme les odeurs et la contamination de l'eau. Une telle approche, visant à réduire le volume de déchets d'origine animale et à en améliorer les caractéristiques, aidera à déterminer quelle partie du circuit de production crée les principaux problèmes environnementaux et à quel stade il sera possible de réaliser les meilleurs gains. Parallèlement, les besoins en recherche pour le futur se préciseront.

PRINCIPAUX PROBLÈMES LIÉS AU LISIER DE PORC

Un survol de la situation révèle à la fois des problèmes communs et des problèmes différents entre les régions selon le contexte agricole.

Le principal problème commun est lié aux odeurs émanant des unités de production

L'émanation d'odeurs, un problème étroitement lié aux porcheries, à l'élevage de porcs ainsi qu'à l'épandage du lisier, est le problème le plus important. La couverture médiatique engendre dans le public une perception négative de l'industrie porcine qui réduit davantage la tolérance des gens aux odeurs. Dans certaines régions, le problème des odeurs freine la croissance de l'industrie porcine. Il est donc impératif de trouver des solutions pour enrayer les odeurs. Pour ce faire, il faudra des efforts concertés pour améliorer les pratiques agricoles actuelles quant à la manipulation du lisier et à son utilisation comme engrais. Les principaux besoins techniques touchent aux points suivants :

- élimination des odeurs au long du cycle de production (circuits fermés, ventilation, alimentation, manipulation dans les unités de production, entreposage, manipulation
- utilisation plus efficace et valorisation des déchets d'origine animale (transformation en compost, traitement, fractionnement, équipement amélioré, épandage selon les besoins culturaux, temps et techniques d'épandage, transport, nouvelles utilisations).

Préoccupations régionales

Provinces de l'Atlantique

- problèmes liés à l'épandage du lisier conformément aux règlements environnementaux de chaque province.

Québec

- problèmes liés à l'épandage du lisier, particulièrement l'accumulation de phosphore dans le sol et le rejet de phosphore et de nitrates dans les eaux souterraines et de ruissellement.

Ontario

- perte d'azote sous forme d'ammoniac
- problèmes liés à l'épandage du lisier et à l'incorporation des éléments nutritifs au sol avant qu'ils ne soient perdus
- contamination fréquente de drains et d'eaux de surface par les bactéries épandues avec le lisier.

Prairies

- entreposage du lisier
- installations de production porcine établies au-dessus de nappes phréatiques à faible profondeur
- capacité du sol à recevoir du lisier, selon le type de sol et la nature de la végétation.

Colombie-Britannique

- effets des éléments nutritifs du lisier sur la qualité des eaux de surface et souterraines
- effets de la production porcine sur la qualité de l'air (émissions de NH_3).

Ces préoccupations traduisent clairement les questions environnementales soulevées présentement dans les régions. Les problèmes qui semblent moins importants aujourd'hui pourraient prendre beaucoup plus d'importance dans le futur. Les stratégies visant à résoudre les problèmes environnementaux à long terme doivent présenter de véritables solutions, et non pas uniquement déplacer les problèmes.

LES ODEURS

Le problème

L'industrialisation de la production porcine de même que les changements démographiques qui sont intervenus dans les régions rurales (expansion urbaine substantielle en région agricole au cours des dernières décennies) ont engendré des problèmes aigus de cohabitation. Les odeurs générées par les porcheries, l'entreposage du lisier et l'épandage dans les champs sont des causes importantes de conflits entre les producteurs et leurs voisins; au Québec, par exemple, 10 % des plaintes à propos des odeurs concernaient des bâtiments agricoles, 20 % touchaient à l'entreposage du lisier et 70 % à des activités d'épandage : la gestion du lisier de porc en dehors des porcheries était donc à l'origine de 90 % des plaintes.

Les exploitations agricoles sont la source d'une variété de problèmes d'odeurs « d'origine naturelle ». Des gaz odorants sont générés lors de la décomposition des protéines végétales et animales par les microbes, et par l'entreposage anaérobie du lisier. Les principales sources d'odeurs proviennent de la production, de la manutention et du traitement des déchets d'origine animale; le problème s'est intensifié avec l'élevage à haute densité en bâtiments clos.

L'intensité de l'odeur varie selon
- le type d'installation de production et son importance
- les méthodes de production
- l'emplacement de l'unité et la topographie locale
- la saison et le climat
- le moment de la journée
- la direction et la force du vent
- la turbulence de l'air.

Il est souvent difficile de déterminer quels composés ou associations de produits chimiques causent le problème. Les êtres humains ont un odorat très sensible, mais tous ne sentent pas les mêmes choses; la réaction à l'intensité des odeurs est donc très variable et est fonction des antécédents des personnes, de leur perception de la production porcine, de leur sensibilité olfactive, etc.

La nature des odeurs est complexe.

- Les substances odorantes dans les bâtiments d'élevage sont produites principalement par des composés volatils et de la poussière. Des analyses des produits chimiques volatils générés par la production animale ont été entreprises. Plus de 150 composés volatils ont été identifiés; tous les composés volatils ne causent pas nécessairement des « mauvaises » odeurs et les composés les plus concentrés ne sont pas toujours les plus désagréables pour l'être humain. Ces composés volatils proviennent en grande partie du lisier, des planchers humides et des animaux sales.

- La poussière se compose de fines particules en suspension : composants alimentaires, matières fécales séchées, poils, cellules de peau, moisissures, champignons, virus et bactéries. La poussière dans les installations de production porcine amplifie la perception des odeurs : la concentration de certains constituants odorants peut être 40 millions de fois plus importante sur des particules de poussières en suspension que dans un volume égal d'air sans particules. Les particules de poussière sont également capables de transporter les odeurs sur de grandes distances.

- Les odeurs provenant de l'entreposage du lisier sont causées par la dégradation anaérobie de la fraction organique du lisier. Les odeurs sont très fortes durant l'homogénéisation du contenu du bassin d'entreposage et le chargement de l'épandeur de lisier.

- Les composés volatils sont rapidement libérés dans l'air lorsque le lisier est épandu; des odeurs très fortes sont alors émises dans les environs du champ. Les odeurs peuvent parfois atteindre des niveaux inacceptables pour le voisinage en raison de la gêne importante qu'elles créent.

- Un autre problème associé aux odeurs est la faible acceptabilité du lisier de porc par certains utilisateurs (les producteurs de cultures commerciales, p. ex.). Il s'agit d'une contrainte non négligeable pour les fermes porcines qui disposent d'un surplus de lisier; le manque de ressources en terres pour écouler les surplus de lisier se traduit souvent par une pollution du sol et de l'eau. Cette question sera traitée plus loin.

- Dans certaines régions, la crainte des mauvaises odeurs a limité l'expansion de l'industrie. L'élimination des odeurs est donc une préoccupation majeure pour les producteurs. Actuellement, il n'existe pas au Canada de technique de lutte antipollution économique susceptible de résoudre les problèmes d'odeurs des fermes porcines.

- Jusqu'à récemment, les odeurs étaient considérées essentiellement comme une nuisance; toutefois, il apparaît de plus en plus que les odeurs peuvent aussi avoir des effets négatifs sur la santé humaine, causant des nausées, des maux de tête, des troubles du sommeil, des dérangements d'estomac, des pertes d'appétit, des dépressions, etc. Les problèmes de santé peuvent être plus graves pour les travailleurs agricoles qui sont constamment exposés à des odeurs, à des poussières et à des gaz toxiques. Certains travailleurs agricoles ont contracté des maladies pulmonaires comme la bronchite chronique, l'asthme ou, pire encore, le poumon de fermier. Les exploitations d'élevage porcin gagnant en importance, de plus en plus de travailleurs sont exposés à ces conditions difficiles.

Vers une solution

1. La première mesure qui doit être prise pour réduire les odeurs est de formuler et de recommander des pratiques de gestion optimales et des normes concernant la stabulation des animaux et la gestion du lisier. Par exemple, des mesures destinées à améliorer la propreté des bâtiments agricoles et des recommandations concernant les conditions météorologiques et le moment appropriés pour procéder à l'épandage du lisier aurait un effet positif sur la réduction des odeurs.

   Jusqu'à ce que de nouvelles techniques soient disponibles, les agriculteurs devraient adopter les « pratiques de gestion optimales » déjà en usage dans plusieurs provinces pour la gestion du lisier. En voici quelques-unes :
   - garder les animaux et les installations propres
   - introduire le lisier par le fond de la fosse
   - injecter ou incorporer le lisier sous la surface du sol
   - procéder à l'épandage du lisier lorsque le vent souffle en direction opposée des voisins
   - procéder à l'épandage le matin ou pendant les journées nuageuses
   - utiliser des arbres comme brise-vent pour favoriser la dispersion verticale des odeurs.

2. La deuxième mesure consiste à recenser et à promouvoir les techniques rentables de réduction des odeurs et d'assurance de la qualité de l'air en usage dans d'autres pays et adaptées au climat canadien et aux pratiques de gestion des fermes porcines.

   Voici quelques possibilités relevées par les chercheurs en ce qui concerne les installations d'entreposage du lisier :
   - Il est possible de réduire les odeurs de 90 % en couvrant les réservoirs.
   - Des matériaux alcalins (des sous-produits de centrales électriques ou de cimenteries, p. ex.) peuvent réduire sensiblement les odeurs en élevant le pH au-dessus de 9,5, réduisant ainsi les émissions de sulfure d'hydrogène; une telle mesure, toutefois, augmente les émissions d'ammoniac, comme il en sera fait mention plus loin.

- La pratique a montré que l'ajout de sphaigne ou d'autres amendements acidifiants dans les bassins réduit les odeurs.
- Il est démontré que le lisier provenant de systèmes de digestion anaérobie est moins incommodant que le lisier non digéré.
- L'oxygénation sans bulle réduit la production de sulfure d'hydrogène à des niveaux indétectables avec le tube détecteur Sensidyne de GasTec.
- L'utilisation d'une toile perméable flottante a permis de réduire de 90 % les émissions d'ammoniac et de sulfure d'hydrogène.

Voici quelques possibilités relevées par les chercheurs en ce qui concerne l'épandage sur le sol :

- Le lisier devrait être soit injecté dans le sol, soit incorporé au sol moins de 24 heures après l'épandage. Différents systèmes sont à l'étude pour l'injection/incorporation du lisier dans le cadre de systèmes de culture en ligne ou de grande production.

3. La troisième mesure consiste à établir un programme de recherche exhaustif à court et à long terme.

Recommandations à court terme

- Évaluer les effets potentiels des modifications du régime alimentaire des porcs et des pratiques d'alimentation sur les émissions d'odeurs.

  L'azote étant une source importante de l'ammoniac et d'autres composés odorants, plus la teneur en azote du lisier est forte, plus les risques d'odeurs sont élevés. La recherche sur l'indice de transformation des aliments et la réduction des odeurs se poursuit dans un bon nombre de directions :

  - Les concentrations d'azote dans le régime des porcs peuvent influencer la composition des acides gras volatils et la concentration de NH_3.
  - La substitution d'acides aminés synthétiques aux sources habituelles de protéines contribue à réduire l'excrétion d'azote chez les porcs.
  - L'ajout d'enzymes protéolytiques dans les rations ou les suppléments alimentaires augmente la digestibilité des protéines.
  - Des suppléments alimentaires comme la zéolite, la bentonite, le charbon de bois, etc., peuvent absorber les odeurs. Les effets de ces substances sur la croissance des porcs et l'efficacité de transformation des aliments doivent faire l'objet de recherches plus approfondies.
  - Les extraits de plantes, les enzymes et les microorganismes à administration directe peuvent également contribuer à réduire les odeurs. Les extraits de yucca, comme additifs alimentaires, peuvent fixer l'ammoniac et d'autres gaz et ainsi réduire les émissions d'odeurs pendant l'entreposage du lisier. Les effets bénéfiques de ces additifs ont été démontrés chez les porcs et la volaille.

- Acquérir des connaissances de l'Europe et des États-Unis sur les émissions, la diffusion et la réduction des odeurs.

  En ayant des connaissances sur les concentrations d'odeurs, les experts peuvent fixer des objectifs et établir une base de comparaison pour améliorer les installations et les pratiques de gestion. Plusieurs techniques (la chromatographie en phase gazeuse, la distillation, la chromatographie en phase liquide, les pièges à ions spécifiques, etc.) ont été utilisées pour caractériser les odeurs et identifier leurs composants. L'odorat humain est le meilleur détecteur d'odeur disponible en l'absence de méthode standard pour mesurer les odeurs associées aux porcs : des olfactomètres dynamiques sont utilisés pour diluer l'air nauséabond à différentes concentrations avec de l'air inodore et l'odorat humain sert d'instrument de mesure.

- Mesurer l'efficacité, l'adaptabilité et la rentabilité des techniques disponibles dans les conditions locales.

- Évaluer l'utilité et la fiabilité des additifs pour lisier à l'aide de méthodes normalisées. De tels tests serviront à déterminer si un additif a des effets secondaires indésirables sur la qualité de l'air, du sol et de l'eau. Voici quelques exemples :

  - On a observé une réduction de 68 % des concentrations d'ammoniac dans les porcheries où on utilise De-Odorase© mais, comme les débits de ventilation étaient inconnus, il n'a pas été possible de calculer les taux absolus d'émission d'ammoniac.
  - Ajouté au régime des porcs à l'engraissement, De-Odorase© a permis de réduire la concentration et les émissions de NH_3 de 26 %, mais n'a pas influencé de manière appréciable la concentration ou les émissions d'odeurs et n'a pas influencé le gain de poids.

Recommandations à long terme

Les activités à long terme devraient être axées sur la recherche de solutions vraiment susceptibles de réduire les émissions d'odeurs et la pollution atmosphérique et d'améliorer les conditions de travail dans les bâtiments agricoles. Elles devraient viser entre autres :

- l'acquisition d'une meilleure connaissance des mécanismes d'émission et de dispersion des odeurs : évaluation quantitative de l'incidence de nombreux facteurs liés à l'environnement et à la gestion animale et recommandation de règlements concernant les distances à respecter selon les caractéristiques des exploitations et les emplacements géographiques,
- l'amélioration de la génétique animale : sélection d'animaux qui utilisent plus efficacement l'azote, le phosphore et les composés générant des odeurs,
- la mise au point de techniques efficaces et économiques pour désodoriser le lisier et réduire ses effets négatifs sur la qualité de l'air, de l'eau et du sol,
- la mise au point d'une méthodologie donnant des résultats reproductibles pour l'évaluation des odeurs de lisier en laboratoire.

LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC

Le problème

Les émissions d'ammoniac provenant du lisier de porc comptent pour une bonne partie des pertes d'azote. Un modèle informatique du devenir de l'azote excrété, mis au point dans la zone côtière du sud de la Colombie-Britannique pour les modes de gestion des déchets et conditions climatiques spécifiques à cette région, a montré que plus de 40 % de l'azote excrété par les porcs est perdu dans l'atmosphère (dans les bâtiments, au cours de l'entreposage et à la suite de l'épandage). Dans cette région, le lisier de porc est généralement entreposé sous les porcheries ou dans des fosses en béton. Le modèle a démontré que la modification du régime alimentaire des animaux est la façon la plus efficace de réduire les émissions de NH_3. En Caroline du Nord, la Division of Air Quality estime entre 85 et 95 % la perte d'azote provenant des installations d'entreposage du lisier de porc. Au Danemark, l'agriculture est responsable d'environ 93 % des émissions de NH_3, avec 35, 20 et 40 % de la volatilisation de NH_3 provenant respectivement des bâtiments d'élevage, des installations d'entreposage et de l'épandage du lisier. Au Danemark, les installations d'entreposage du lisier se trouvent habituellement sous les bâtiments ou dans des réservoirs en béton.

L'ammoniac proprement dit a un court temps de séjour dans l'air : il peut revenir au sol sous forme de dépôts secs de NH_3 près de la source d'émission (6-14 %) ou être transformé en NO (<1 %) pour ensuite former des particules de nitrate d'ammonium ou de sulfate d'ammonium (86-94 %) qui peuvent être transportés à des distances atteignant 2 500 km. La plus grande partie du NH_3 se dépose près de la source de production. Au Danemark, plus de 85 % du NH_3 se dépose à moins de 100 km de la source, et 75 et près de 100 % de ces dépôts se font à moins de 4 km respectivement pendant le jour et la nuit. Aux Pays-Bas, on a mesuré des retombées d'azote de 68 et 42 kg ha^{-1} à des distances de 75 et 700 m d'un poulailler. La volatilisation du NH_3 a donc un effet important sur l'apport d'azote dans les écosystèmes environnants pauvres en éléments nutritifs.

Les émissions d'ammoniac soulèvent des préoccupations quant à l'environnement et à la santé humaine. Elles ont également des répercussions négatives sur la comptabilisation des éléments nutritifs et le recyclage de ceux-ci. Les retombées d'ammoniac et d'ammonium provoquent l'eutrophisation des eaux de surface et des écosystèmes terrestres. L'ammoniac est un polluant localisé qui n'est pas susceptible d'agir comme une toxine atmosphérique; toutefois, c'est un précurseur pour les particules ou les aérosols d'ammonium, qui sont des polluants non localisés. Les aérosols de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium sont des particules de moins de 2,5 □m de diamètre. On croit que ces particules présentent un risque important pour la santé humaine avec l'augmentation des concentrations de particules dans l'atmosphère : les particules de cette taille passent au travers des moyens de défenses naturels du système respiratoire. La quantité de NH_3 qui se combine avec les nitrates et les sulfates acides en suspension dans l'air pour former des aérosols est fonction de la concentration de ces composés dans l'atmosphère. Les nitrates et les sulfates acides sont produits par l'industrie et les automobiles. Ainsi, dans les environs de Los Angeles et de Vancouver, on a noté des quantités importantes d'aérosols de sulfate d'ammonium et de nitrate d'ammonium en raison de la présence d'unités de production animale intensive à proximité des centres urbains. Dans la partie est de la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique, on a constaté que les aérosols de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium constituent jusqu'à 70 % des particules fines pendant l'été et provoquent une baisse de la visibilité.

Vers une solution

Les émissions d'ammoniac et les moyens de les réduire

Comme on l'a mentionné auparavant, il est parfois difficile de faire la distinction entre les émissions d'ammoniac qui proviennent des bâtiments et celles qui proviennent des installations d'entreposage parce que, dans certaines fermes, les fosses à lisier sont situées directement sous les bâtiments. Dans une étude récente réalisée en Europe, on a évalué que les émissions de NH_3 provenant de porcheries se situaient entre 37 et 40 % de l'azote excrété. En établissant le bilan de l'azote dans une installation d'élevage porcin ontarienne, on a estimé que 43 % de la quantité d'azote excrétée était rejetée des installations, principalement sous la forme de NH_3. Des mesures directes des émissions de NH_3 provenant de porcheries de l'Ontario ont indiqué une perte de 9 à 19 % de l'azote excrété. Exprimé en fonction de la masse animale, le flux de NH_3 se situait entre 4,6 et 7 mg N h^{-1} kg^{-1}, des valeurs comparables aux valeurs de 2,5 à 6,5 mg N h^{-1} kg^{-1} estimées pour des porcheries en Écosse.

Une grande partie des surplus de protéines alimentaires est excrétée sous forme d'urée. Or, l'hydrolyse de l'urée commence immédiatement sur le sol de la porcherie, ce qui provoque une hausse du pH qui entraîne des émissions de NH_3. Dans le cas du fumier de bovins laitiers, les émissions de NH_3 étaient plus fortes au cours des 24 heures suivant l'excrétion. Les émissions d'ammoniac du lisier sont fonction du régime de l'animal et de l'exposition du lisier à l'air. Le taux d'émission de NH_3 pour le lisier est lié à la température, à l'échange d'air, au pH, à la profondeur du lisier et à la durée de l'exposition.

Améliorer les régimes alimentaires, particulièrement la teneur en protéines

- L'adaptation de l'alimentation au stade de développement et l'équilibrage des acides aminés dans la nourriture constituent la principale stratégie pour réduire les émissions de NH_3 générées par l'élevage porcin. Cette stratégie est réalisable dans la plupart des installations de production et constitue l'un des moyens les plus efficaces pour réduire les émissions de NH_3.
- L'amélioration des régimes alimentaires a permis une réduction de 26 % de la quantité d'azote excrétée, qui s'est traduite par une réduction de 25 % des émissions de NH3.
- L'inclusion dans le régime alimentaire de substrats fermentescibles sous l'influence de bactéries a réduit les émissions de NH_3 de 18 % pendant la phase d'engraissement des porcs.

Diminuer la durée de l'exposition des excrétions animales à l'air

- Fréquents nettoyages de la porcherie à l'aide de racleurs et de canaux à urine séparés; ce système classique et économique de gestion du lisier a donné de faibles émissions de NH3.
- L'utilisation de bacs collecteurs de lisier a contribué à diminuer les émissions de NH_3 de 30 %; en combinant régimes alimentaires améliorés, alimentation en fonction du stade de développement et stabulation améliorée, il a été possible de réduire de 45 % les émissions de NH_3 par comparaison aux systèmes d'alimentation et de stabulation ordinaires.
- Les installations à litière profonde pour les phases de croissance et d'engraissement des porcs peuvent aider à réduire de 70 % les émissions de NH_3 comparativement aux installations ordinaires, mais elles entraînent une nette augmentation de la production de N_2O, l'un des principaux gaz responsables du réchauffement de la planète.

Émissions d'ammoniac pendant l'entreposage du lisier

L'exposition du lisier à l'air est le principal facteur responsable des émissions de NH_3. À la différence du lisier de bovins laitiers, le lisier de porc forme rarement une croûte au cours de l'entreposage, ce qui entraîne de fortes émissions de NH_3. Aux États-Unis, on a estimé que les pertes d'azote au cours de l'entreposage et de la manutention variaient de 60 à 80 % en bassin anaérobie et de 30 à 65 % en fosse souterraine avec épandage liquide. Des pertes d'azote atteignant 95 % ont été observées dans

l'est des États-Unis pour le lisier entreposé dans des bassins.

Plusieurs recommandations pourraient être utiles :

- La réduction des pertes de NH_3 pendant l'entreposage du lisier peut nécessiter d'importants investissements pour la modification des systèmes d'entreposage. Au cours d'une expérience en laboratoire, on a enregistré des pertes de 24 % de l'azote total du fumier par volatilisation de NH_3 avec l'utilisation de couvercles artificiels sur du lisier de porcs, comparativement à 76 % pour une installation sans couvercle. La plupart des nouvelles exploitations d'élevage porcin des Prairies canadiennes sont dotées de grands bassins pour l'entreposage; à l'opposé, aux Pays-Bas, la tendance consiste à entreposer le lisier de porc liquide dans des fosses fermées ou des enceintes closes pour réduire au minimum les pertes de NH_3.

- La sphaigne de même que les acides sulfurique et phosphorique contribuent à réduire d'au moins 75 % les émissions de NH_3 provenant du lisier entreposé.

- Une couverture de paille ou de plastique réduit les émissions de NH_3 respectivement de 65 à 70 % et de 77 à 84 %, tandis qu'une couche d'huile minérale les réduit de 34 à 95 %.

- Des réductions des émissions de NH_3 provenant d'installations d'entreposage du lisier de porcs à l'engraissement ont été réalisées par l'ajout d'acides organiques ou d'autres additifs au lisier ainsi que par le refroidissement ou la séparation, l'aération et la recirculation du lisier.

- Le compostage a été préconisé comme méthode plus écologique de gestion pour les matières solides du lisier de porc, le fumier des bâtiments à litière profonde ou peu profonde ou, encore, le lisier additionné de tourbe ou de paille. Toutefois, des émissions importantes de NH_3 et de N_2O sont produites pendant la transformation en compost des déchets d'élevage du porc.

Émissions d'ammoniac après l'épandage

L'azote sous forme d'ammonium constitue jusqu'à 90 % de l'azote présent dans le lisier entreposé en conditions anaérobies. Après épandage, le pH augmente avec l'oxydation des acides gras à chaîne courte. Cette augmentation de pH, associée à une exposition à l'air, amène une perte d'azote sous la forme de NH_3. Les émissions d'ammoniac augmentent lorsque le lisier est épandu sur des sols imperméables ou à pH élevé et quand les températures et les vents sont élevés. Différentes valeurs ont été rapportées : jusqu'à 90 % de la fraction d'azote ammoniacal du lisier peut être perdue après l'épandage. En France, les pertes de NH_3 provenant de lisier épandu sur des prairies ou des terres labourables se situaient entre 37 et 63 % de l'azote ammoniacal présent dans le lisier, avec 83 % des émissions se produisant au cours des six premières heures lorsque l'épandage était effectué au milieu de la journée. Entre 25 et 50 % de l'azote ammoniacal du lisier de porc épandu s'était volatilisé au bout de 1,5 à 4 heures après l'épandage. Aux Pays-Bas, la perte de la fraction d'azote ammoniacal du lisier (NH_3) atteignait 36 à 78 % après l'épandage dans des pâturages. Au Royaume-Uni, de 24 à 39 % de l'ammoniac perdu avait été libéré au cours de la première heure et 85 % au cours des douze premières heures suivant l'épandage. Il est évident que toutes ces valeurs indiquent une importante perte d'azote.

Une solution pourrait être retenue dans ce qui suit :

- Une stratégie efficace et facilement réalisable de réduction des émissions de NH_3 consiste à améliorer l'épandage du lisier, soit par injection ou par incorporation immédiate dans les terres labourables, soit en utilisant un épandeur à applicateur traînant dans les prairies. L'incorporation immédiate du lisier est la méthode la plus efficace de réduire la perte de NH_3 après l'épandage. Le labourage du sol avant l'épandage a aussi permis de réduire les émissions de NH_3 : les émissions d'ammoniac étaient en effet 1,5 fois plus importantes après l'épandage de lisier sur une prairie que sur un sol labouré. L'utilisation d'un épandeur à applicateur traînant dans les prairies a amené des

diminutions importantes des émissions de NH_3 et une meilleure récupération de l'azote par les graminées.

L'ADÉQUATION DES SOLS OU DES TERRES À L'ÉPANDAGE DU LISIER

Le problème

Le lisier de porc doit être considéré comme une ressource; sa gestion et son utilisation doivent donc être abordées en conséquence. L'épandage du lisier sur les sols cultivés est l'une des méthodes les plus évidentes pour recycler les éléments nutritifs : les éléments nutritifs du sol contenus dans les produits récoltés servant à l'alimentation des animaux sont retournés en partie au sol sous forme de lisier. La disponibilité des éléments nutritifs contenus dans le lisier est fonction de la composition de ce dernier et d'autres facteurs comme les pratiques de gestion et les caractéristiques du sol.

Un certain nombre d'installations d'élevage porcin sont établies sur des terres de faible productivité pour des raisons économiques (plus particulièrement à cause du prix de la terre et de la proximité des marchés). Les terres agricoles de classes 4 et 5 ont généralement une texture allant de sablonneuse à loameuse et affichent fréquemment des caractéristiques d'humidité particulières : elles comportent différents types d'aquifères à faible profondeur et la qualité du sol et de l'eau y est fragile. Pour ces raisons, il est très important que les producteurs disposent de protocoles ou de lignes directrices acceptables du point de vue de l'environnement concernant l'épandage du lisier. Une base de données numériques sur les sols pourrait servir de fondement géographique à ces lignes directrices et des cartes d'épandage provisoires pourraient être produites au moyen de systèmes d'information géographique (SIG).

L'adéquation du sol à l'épandage du lisier est fonction de plusieurs paramètres :

- Les sols à texture forte sont peu perméables et ne favorisent pas la décomposition; le régime d'épandage du lisier doit donc y être plus faible que sur les sols à texture grossière, qui sont très perméables et favorisent une décomposition rapide du lisier.
- Les forts taux d'épandage du lisier sur des sols de texture grossière peuvent entraîner la contamination des eaux souterraines en raison du lessivage des éléments nutritifs; par contre, des taux d'épandage élevés sur des terres fortes peuvent être avantageux en raison de la forte capacité de rétention des éléments nutritifs de ces sols.
- Le lisier ne devrait pas être épandu sur la neige ou un sol gelé, particulièrement lorsque le sol est sujet à un rapide ruissellement printanier.
- Les champs fortement amendés avec du lisier ne devraient pas être laissés en jachère d'été pour éviter le lessivage de l'azote et la contamination possible de l'eau souterraine.

L'information concernant les effets du lisier de porc sur les propriétés physiques du sol est limitée. Toutefois, on peut s'attendre à ce que ces effets soient semblables à ceux rapportés pour le fumier de bovins : ce dernier améliore l'agrégation du sol, en diminue la densité apparente et en améliore la structure et la capacité de rétention d'eau grâce à une augmentation de la teneur en matière organique. Les changements de la composition chimique du sol sous l'effet de l'épandage de lisier dépendent surtout de facteurs comme la texture du sol, le taux d'épandage, la période et la méthode d'épandage du lisier ainsi que l'importance des précipitations locales et la nature des cultures.

Il a été démontré que de fortes doses de lisier augmentaient plus rapidement la teneur en nitrates, en phosphore assimilable ainsi qu'en potassium et en sodium échangeables que les engrais chimiques. L'épandage de lisier entraîne également l'accumulation de nitrates ainsi que de phosphore et de sodium extractibles dans le sous-sol : le niveau d'accumulation augmente avec le taux d'épandage. Le lisier de

porc affiche un rapport N/P plus bas que celui des plantes cultivées; ainsi, lorsque l'apport en azote dans une culture se fait par l'épandage de lisier, l'apport en phosphore excède les besoins des plantes, ce qui peut se traduire par une exportation du phosphore par lessivage et ruissellement. Cette question sera traitée plus en détails plus loin.

Dans le cas de forts taux d'épandage, le calcium et le magnésium peuvent être délogés des sites d'échange par les ions concurrents présents dans le lisier, comme Na^+, K^+, et NH_4+, et lessivés de la couche arable pour s'accumuler en partie dans les couches plus profondes. Les ions H^+ produits au cours de la conversion du NH_4+ en NO_3- peuvent déloger les cations Ca et Mg présents sur les colloïdes du sol et abaisser ainsi le pH à la surface du sol. Les sels ou les additifs présents dans le régime alimentaire peuvent changer la composition du lisier; différents ions peuvent s'accumuler dans le sol. Le lisier provenant de porcs dont l'alimentation est riche en cuivre a augmenté légèrement les teneurs en Cu, en Zn, en P, en Ca et en Mg du sol, par comparaison à un échantillon témoin. De la même façon, une augmentation de la salinité du régime alimentaire a amené un accroissement des niveaux de sodium dans le lisier et dans le sol.

L'intensité du lessivage des nitrates après l'épandage de fortes doses de lisier est fonction de facteurs comme le taux et la période d'épandage, le type de sol, le type de culture et sa durée ainsi que la fréquence et la quantité des précipitations. En régions tempérées, les concentrations de nitrates dans le sol sont généralement plus importantes en mai et diminuent par la suite, pendant la saison de végétation, en raison de l'assimilation de l'azote par les plantes et du lessivage. Le devenir de l'azote du lisier est aussi fonction, dans une certaine mesure, du contenu en carbone du lisier; ainsi, l'augmentation de la teneur en carbone du lisier peut augmenter le niveau de dénitrification dans le sol et réduire le risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates. Au Québec, la concentration maximale de nitrates est atteinte à la fin de juin et au début de juillet. La dénitrification n'est pas particulièrement fonction du carbone dans les régions plus froides et humides et se produit dès que des conditions anoxiques se présentent : les émissions de N_2O sont importantes peu de temps après l'ajout d'engrais ou dans les 20 jours suivant l'épandage de lisier. Ici, la volatilisation est beaucoup plus importante que la dénitrification, qui représente seulement de 2 à 5 % des pertes. Le lessivage des éléments nutritifs en solution, en particulier les nitrates, vers les couches inférieures du sol peut être plus préoccupant lorsque le lisier est injecté plutôt qu'épandu en couverture, selon l'accessibilité des macropores du sol.

Vers une solution

L'adéquation du sol à l'épandage du lisier est une question d'intérêt national et international. La détermination des taux d'épandage est basée généralement sur la capacité des plantes à assimiler les éléments nutritifs, le plus souvent selon les besoins en azote de la culture.

- D'autres facteurs pourraient améliorer la gestion aussi bien des sols que des fumiers ainsi que la protection de l'environnement. Par exemple, des recommandations sur les taux d'épandage en fonction des sols seraient utiles aux producteurs et aux entreprises commerciales et profiteraient éventuellement au public en général. Elles pourraient être établies en combinant l'information pertinente sur les ressources (traitée avec des techniques de SIG) à des données sur le volume et la qualité du lisier.

- L'information concernant la capacité du sol à assimiler le lisier de porc est limitée. La recherche a été davantage orientée vers les techniques de traitement, de manipulation, d'épandage du lisier ainsi que de réduction des volumes de lisier. L'information disponible sur les sols et les cultures peut servir à établir des taux de charge de lisier présentés sous la forme de cartes du « risque » d'après le type de sol, le relief, l'hydrologie, la température, les précipitations, le type de culture et les pratiques culturales, la qualité du fumier et le moment de l'épandage. L'élaboration de lignes directrices sur l'utilisation du lisier de porc pour maintenir et améliorer la productivité des sols agricoles et non agricoles et offrir aux producteurs une option pour l'élimination et la valorisation

d'un sous-produit aura des répercussions importantes sur la gestion des terres et les pratiques culturales. Les risques relatifs aux taux de charge peuvent être établis.

- Il faudra notamment établir des lignes directrices sur les taux d'épandage qui tiendront compte du devenir des matières épandues de façon à optimiser l'utilisation des éléments nutritifs et à réduire au minimum les pertes par lessivage, à limiter l'accumulation de sels et de métaux dans le sol et à protéger les eaux souterraines.

- Les projets pluridisciplinaires réunissant l'expertise indispensable dans les domaines de la géochimie environnementale, de la pédologie, de la physico-chimie du sol et de la microbiologie contribueront de façon importante à la solution du problème.

- La connaissance détaillée des types de sol, de leurs caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et minéralogiques et de leur variabilité spatiale ainsi que des conditions climatiques locales peut servir à définir les relations sol-plantes et la productivité potentielle.

- Les protocoles de recherche devraient avoir pour objet l'utilisation efficace du lisier pour améliorer la teneur en éléments nutritifs des sols. En outre, les méthodologies devraient incorporer de l'information sur les sols et les paysages telle que la perméabilité du sol (texture et épaisseur), le pH, la teneur en matière organique, la température et l'humidité du sol, le risque de ruissellement en surface, ainsi que la vitesse de biodégradation et la qualité du lisier (bilan des éléments nutritifs et des sels, teneur en oligo-éléments et en métaux lourds, etc.).

- L'information sur les ressources pédologiques de plusieurs provinces a été compilée dans des bases de données informatisées standard convenant à l'analyse et à la présentation à l'aide des techniques de SIG. L'information sur les sols d'Agro-Manitoba est maintenant informatisée et est gérée selon des formats standard pour être utilisée et appliquée dans un environnement de SIG. Une telle base de données peut faciliter l'extrapolation de recommandations sur la gestion aux terres et aux paysages agricoles.

LE PHOSPHORE

La gestion des déchets d'origine animale comme le lisier a contribué à l'expansion rapide de l'industrie du porc au Canada, et ce phénomène risque de se poursuivre dans les provinces des Prairies. En 1996, environ 55 % de l'ensemble des stocks de porcs se trouvaient au Québec et en Ontario et 42 % dans les Prairies, principalement en Alberta et au Manitoba. Le lisier était épandu en grande quantité et l'uniformité de l'épandage était un problème. Le Québec serait la seule province dotée d'une législation régissant la gestion des fumiers. Depuis 1978, la loi a spécifié la distance minimale devant séparer les immeubles des installations d'entreposage ainsi que le taux d'épandage selon les besoins en azote de la culture. La Colombie-Britannique possède une législation réglementant certains aspects de la gestion des fumiers, dont la distance par rapport aux cours d'eau et aux immeubles et l'utilisation dans les champs. La Colombie-Britannique dispose également de lignes directrices concernant l'épandage qui sont basées sur l'azote et la culture.

Les taux d'épandage habituels sont basés sur les besoins en azote de la culture. Ceci a souvent amené une augmentation de la teneur en phosphore du sol, excédant les besoins de la culture, en raison du rapport azote-phosphore plus élevé dans le fumier (4/1, en moyenne) que dans les prélèvements par les cultures (7/3 pour les principales céréales et les fourrages). Le problème de l'accumulation de phosphore dans le sol est différent selon les régions au pays. Le lisier de porc n'est pas excessivement abondant dans les provinces de l'Atlantique. Les niveaux de phosphore constituent un problème en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique. La plupart des producteurs de porcs du Québec et de la Colombie-Britannique ne disposent pas de ressources en terres suffisantes pour utiliser tout le

lisier de manière écologique. Quelque 3 000 fermes sont dans cette situation au Québec. Les ressources en terres sont suffisantes dans les Prairies pour écouler le lisier. Les sols y sont considérés comme déficients en azote et en phosphore et demandent des apports annuels des deux éléments si l'on veut profiter d'une croissance optimale des cultures. La nature calcaire des sols restreint la mobilité du phosphore minéral. Toutefois, une gestion inadéquate du lisier crée un risque de contamination des eaux de surface par le phosphore en raison du ruissellement sur les terrains en pente. De plus, l'épandage de lisier en excès peut augmenter le risque de mouvement du phosphore organique vers les aquifères peu profonds.

Le problème

Le lisier, avec une teneur élevée en carbone et en phosphore solubles, peut entraîner la présence de fortes concentrations de phosphore hydrosoluble (P_w) dans la couche arable et le sous-sol, augmentant ainsi le risque de transport du phosphore par les eaux de surface et souterraines. Des études en parcelle ont démontré des pertes importantes de phosphore par le ruissellement, même à des taux d'épandage recommandés. La migration du phosphore est fonction des cultures : la migration est beaucoup plus importante dans le cas des cultures fourragères que pour le maïs, car les biopores sont plus accessibles lorsqu'il n'y a pas de travail du sol. Dans les sols sableux et argileux sans pente et mal égouttés, les drains peuvent contribuer à déplacer le phosphore vers les nappes d'eau lorsque les conditions sont favorables. Dans les sols argileux qui se crevassent, qui se gonflent et se rétractent, le phénomène de l'écoulement préférentiel peut causer le transport du lisier directement de la surface du sol jusqu'aux drains.

Des études menées dans des bassins hydrographiques québécois comportant une forte concentration d'unités d'élevage porcin ont montré une importante augmentation de la teneur en phosphore bio-assimilable dans le sol et une diminution de la capacité de sorption du phosphore dans les sols des fermes porcines. Des concentrations en phosphore très supérieures à la valeur seuil de 0,03 mg L^{-1} ont été relevées dans des bouches d'évacuation de drains et dans les eaux de ruisseaux et de rivières. Au moins six bassins hydrographiques de la province de Québec affichent un surplus d'azote et de phosphore dépassant un million de kilogrammes par rapport aux besoins des cultures. Des taux d'épandage supérieurs aux besoins des cultures engendrent un enrichissement du sol et réduisent considérablement la capacité de rétention du sol : des augmentations de plus de 1 000 kg ha^{-1} dans la couche arable, de 275 kg ha^{-1} dans l'horizon B et de 500 kg ha^{-1} dans l'horizon C ont été mesurées dans les sols de fermes porcines par rapport à des sols forestiers dans le bassin hydrographique de la rivière Beaurivage au Québec. Les sédiments du bassin hydrographique de la rivière Boyer, très importante pour le frai des éperlans, sont saturés de phosphore. Un rapport significatif entre la quantité de solides en suspension et la concentration totale de phosphore à l'embouchure a été établi pour 16 rivières importantes des basses terres du Saint-Laurent. Ceci donne à penser que l'érosion des sols enrichis en phosphore a été importante dans les terrains en pente, de même que l'infiltration préférentielle dans les sols drainés sans pente.

Au Québec, un projet de loi vise à empêcher l'épandage de lisier sur des sols riches en phosphore ou tout au moins à limiter les apports à la quantité prélevée par les plantes récoltées. Cette loi, qui n'est pas encore adoptée, pourrait aggraver le problème du lisier excédentaire dans certains bassins hydrographiques, car elle pourrait faire augmenter de manière importante et même doubler la superficie nécessaire pour écouler le lisier.

Dans les Prairies, des apports d'azote et de phosphore sont nécessaires pour répondre aux besoins des productions agricoles. Dans les sols calcaires, les phosphates minéraux solubles réagissent rapidement avec le calcium et le magnésium et sont ainsi immobilisés. Toutefois, seulement de 40 à 50 % du phosphore présent dans le lisier est minéralisé au cours de la première année suivant l'épandage. Des épandages de lisier mal planifiés peuvent polluer les eaux de surface par le ruissellement du phosphore sur les terres en pente ou le lessivage du phosphate organique dans les

aquifères à faible profondeur .

Vers une solution

Régimes alimentaires qui réduisent la teneur en phosphore du lisier

- L'ajout de phytase à la nourriture des porcs peut augmenter de 50 à 70 % l'assimilation du phosphore alimentaire et réduire le besoin en suppléments minéraux phosphorés (phosphates monocalcique et bicalcique) dans les rations.
- L'ajout de cellulase et l'emploi de techniques de traitement améliorées peuvent réduire de 5 à 30 % la teneur en phosphore du lisier.
- L'ajustement de la composition des aliments en fonction des besoins en éléments nutritifs à des stades précis de la croissance diminue l'excrétion de phosphore. Toutefois, cela peut avoir un certain effet sur le taux de croissance des animaux.
- L'augmentation de la digestibilité des aliments au moyen de techniques de traitement diminue les excès d'éléments nutritifs apportés pour atteindre un taux de croissance maximal et réduit jusqu'à 5 % l'excrétion de phosphore.

Implanter des pratiques agronomiques permettant de mesurer les effets du phosphore

- De nouvelles lignes directrices pour l'épandage du lisier établies en fonction du phosphore plutôt que de l'azote sont nécessaires. Il faudra toutefois de plus grandes superficies de terre pour écouler la même quantité de lisier.
- Des analyses de sol, basées sur les caractéristiques pédologiques qui jouent un rôle dans la migration du phosphore (pente, teneur en Al, drainage, tendance du sol à se crevasser, etc.), doivent être entreprises. Un système d'information sur les sols et la technique de SIG peuvent aider à mettre sur pied un système intégré et informatisé d'aide à la décision facilement utilisable par les agronomes et les agriculteurs.
- La gestion du lisier en fonction des bassins hydrographiques, assurée par les associations agricoles, sera nécessaire pour coordonner et promouvoir l'utilisation du lisier avant toute autre source d'éléments nutritifs. Des taux d'épandage spécifiques aux différents sols doivent être établis. Il faut également examiner les répercussions à long terme d'apports répétés.
- L'extraction de la partie solide (5 % en volume) du lisier de porc permettrait de réduire de 50 % le contenu en phosphore. La partie liquide pourrait ensuite être concentrée.
- Un traitement avec du sulfate d'aluminium pour précipiter le phosphate, comme on le fait avec les boues urbaines, pourrait transformer le phosphore du lisier en des formes très peu solubles qui pourraient être épandues dans les champs sans trop augmenter leur teneur en d'autres éléments instables. Cependant, la biodisponibilité à long terme de ces composés doit faire l'objet d'une recherche plus poussée.
- Comme solution de rechange, il est possible d'utiliser de la litière comportant un rapport C/P élevé ou d'incorporer au lisier des matières riches en carbone (copeaux de bois, résidus de pâtes et papier, etc.) afin de produire des composts qui seront utilisés ailleurs pour remettre en état des sols pauvres en matière organique.

Pratiquer une gestion du lisier permettant de limiter l'accumulation du phosphore

- L'épandage du lisier à l'automne sans incorporation au sol devrait être interdit, car une forte pluie entraînerait une sérieuse contamination de l'eau et des sédiments.
- L'étalonnage de l'équipement d'épandage du lisier est nécessaire pour permettre un apport approprié en éléments nutritifs.
- Les systèmes de culture en bandes alternantes avec graminées vivaces ou la plantation de haies pluriétagées pour servir de tampon le long des cours d'eau sont grandement susceptibles de réduire la contamination par le phosphore attribuable au ruissellement sur les terres en pente. De tels

systèmes peuvent aussi permettre d'éliminer le phosphore des veines d'eau souterraines latérales dans les sols peu profonds et de retenir les particules emportées par le vent.

- Un léger travail du sol peut réduire les pertes de phosphore par ruissellement sur les terres en pente et augmenter les prélèvements de phosphore dans les Prairies aux endroits où les pertes de phosphore dans les eaux de drainage sont limitées.
- L'épandage stratégique d'azote sous la forme d'ammoniaque est reconnu pour accroître les prélèvements de phosphore, soit directement, soit en augmentant la solubilité du phosphore présent dans le sol.
- Les recommandations doivent viser l'utilisation du phosphore résiduel dans le sol en combinaison avec de petites quantités de phosphore soluble comme engrais de démarrage.
- L'utilisation de cultures-abris pour la production céréalière de printemps peut permettre l'épandage de lisier à l'automne dans les régions à faibles précipitations.
- La mise en place de cultures à fort prélèvement de phosphore (le maïs-ensilage dans les zones de plus de 2 500 U.T.M. ou le canola dans les zones de climat frais de moins de 2 500 U.T.M., par exemple).
- L'utilisation d'autres cultures comme les fourrages ou les arbres (érables à sucre, p. ex.) devrait être envisagée.

Assurer la gestion de l'eau

- Le travail de conservation du sol peut réduire les transferts de sol et de phosphore dans les eaux de ruissellement, bien que la proportion de phosphore biodisponible à la fois sous la forme soluble et sous la forme de particules puisse augmenter. En conséquence, les décisions agricoles pouvant avoir un lien avec l'eutrophisation devraient tenir compte des pertes de phosphore total et de phosphore biodisponible du lisier.
- L'utilisation de méthodes appropriées pour évaluer la biodisponibilité du phosphore sous la forme de phosphore soluble et de phosphore particulaire biodisponible est nécessaire pour déterminer l'effet de l'épandage du lisier de porc ou des pratiques de gestion agricole sur la productivité biologique des eaux de surface.
- Il faudrait évaluer la réponse potentielle à la teneur résiduelle en phosphore des sols amendés avec du lisier, avec ou sans rotations, à court et à long terme.

CONTRIBUTION DE LA RECHERCHE

Nouvelles techniques de résolution des problèmes à court terme

- Établir une méthode standard pour évaluer la qualité des additifs, de l'air, du sol et de l'eau ainsi que les odeurs incommodantes.
- Améliorer les pratiques d'épandage du lisier afin de réduire les émissions de NH_3.
- Réduire les pertes de NH_3 pendant l'entreposage.
- Élaborer des lignes directrices concernant la gestion du lisier qui tiennent compte de l'interaction entre le sol et les éléments nutritifs du lisier, des caractéristiques du sol, des facteurs saisonniers, des interactions entre les minéraux, des mouvements des eaux de surface et souterraines, etc.
- Étudier les effets de l'ajout de matières riches en carbone au lisier pour améliorer le comportement des éléments nutritifs du lisier.
- Évaluer l'adaptabilité et les aspects économiques de la mise en œuvre des techniques disponibles.

- Évaluer les effets de l'alimentation adaptée au stade de développement, de la composition des régimes alimentaires et de l'équilibre des acides aminés dans les aliments sur la réduction des émissions d'ammoniac, la composition du lisier et la réduction des odeurs émanant du lisier.

- Séparer les parties liquide et solide du lisier et transformer les solides en compost pour réduire les émissions de gaz.

- Modifier la conception des installations d'élevage pour améliorer la gestion du lisier et réduire les émissions de gaz.

- Amasser de l'information sur les cycles des éléments nutritifs présents dans le lisier et leur utilisation effective par les cultures annuelles (il s'agit aussi d'un objectif à long terme).

- Déterminer quelles sont les cultures qui, dans les conditions climatiques du Canada, prélèvent des éléments nutritifs en automne; ces dernières permettraient l'épandage de lisier en automne et réduiraient du même coup la période totale d'entreposage.

- Continuer l'évaluation des types de sols et de leur adéquation à différentes méthodes d'épandage.

- Augmenter l'efficacité des phosphates dans les régimes alimentaires (phytase, cellulase, formulation) pour réduire l'utilisation excessive de suppléments.

Besoins en recherche à long terme

La production porcine, une industrie totalisant plus de deux milliards de dollars, est pratiquée partout au Canada. Cette activité est en expansion, mais à des rythmes différents selon les provinces. Dans l'ensemble, la production a connu une hausse de 7 % en 1995 par rapport à l'année précédente. Il est à noter qu'une importante part de la production va à l'exportation. Environ 30 % de la production canadienne a été exportée dans 55 pays, et le potentiel d'expansion de la production est réel. Cependant, toute augmentation de la production sera accompagnée d'une augmentation des besoins : aliments pour animaux, qualité des aliments, installations d'élevage, entreposage du lisier, et ressources en terres pour l'épandage. De plus, un grand nombre de personnes seront touchées par les problèmes environnementaux occasionnés par l'élevage.

Quatre problèmes ont été vus dans les chapitres précédents. Il s'agit :
- de la production d'odeurs émanant des installations d'élevage et de l'entreposage du lisier
- de la pollution de l'air
- de l'adéquation des sols à l'épandage de lisier
- de l'accumulation du phosphore dans les sols amendés avec du lisier.

Ces questions peuvent être considérées comme des problèmes à court terme à l'égard desquels, semble-t-il, d'importants progrès seront réalisés au cours des quatre prochaines années. Les effets de la production porcine sur la qualité de l'eau ont également été soulevés.

Les aspects à long terme de la production porcine ainsi que de la manipulation et de l'élimination du lisier sont multiples. Pour s'attaquer aux problèmes dans leur ensemble, il est nécessaire de mettre au point un plan intégré qui tient compte de tout le cycle de production. Le plan traitera entre autres des questions suivantes :
- les aliments et l'alimentation
- les bâtiments
- la santé des porcs
- la production et l'entreposage du lisier
- les odeurs du lisier et la production de gaz

- la manutention et l'épandage du lisier axés sur la conservation des éléments nutritifs utiles
- les moyens rentables de traitement ou de conditionnement du lisier pour son utilisation ultérieure
- les effets du lisier sur l'environnement.

Il faut travailler de façon soutenue sur ces points et, en bout de ligne, y trouver une solution acceptable si l'on veut que le problème de l'augmentation de la production porcine soit résolu de manière satisfaisante.

Pour réussir, il faudra que le secteur privé, les producteurs et les entreprises de génie rural de même que les groupes de recherche participent activement.

Aliments et alimentation

- Mettre au point des aliments qui optimisent la croissance, réduisent au minimum les coûts et maximisent les profits des producteurs, qui cherchent des moyens d'optimiser l'efficacité de la production. D'autres problèmes peuvent être réglés en agissant sur la formulation des rations.

- Modifier l'équilibre des acides aminés dans les rations afin de réduire les concentrations d'azote dans les fèces. L'augmentation de l'efficacité des aliments de porcs peut amener une diminution des coûts d'alimentation et de la quantité de lisier à gérer. La modification de la composition du lisier aura des répercussions sur le type de fermentation qui se produira dans la fosse à lisier, les odeurs (les composés qui les produisent sont des sous-produits des ingrédients du lisier) et la production de gaz (les gaz sont des sous-produits de la fermentation des éléments nutritifs du lisier, du recyclage de minéraux, etc.)

- Complexes minéraux : les minéraux présents dans les aliments s'y trouvent normalement sous la forme de complexes organo-minéraux. Le mélange de différents aliments peut amener la formation de nouveaux complexes organo-minéraux qui peuvent rendre certains minéraux moins disponibles pour les animaux et rendre également ces mêmes minéraux dans le lisier moins disponibles pour les plantes dans les champs.

Environnement et bâtiments des animaux

- La ventilation est le principal facteur. Les porcs ont des besoins très particuliers en air frais. L'air frais est en effet indispensable pour maintenir la santé des animaux, régulariser la température de leur corps, diminuer les concentrations de poussières dans l'atmosphère, maintenir les taux de croissance grâce à un métabolisme bien régularisé, etc. La plupart des techniques s'appliquant à ce volet de l'environnement sont bien comprises, mais elles doivent être mises en pratique pour produire les effets désirés.

Entreposage du lisier

- Installations d'entreposage : beaucoup d'efforts ont été consentis pour déterminer les conditions adéquates pour l'entreposage du lisier. De nombreux systèmes d'entreposage peuvent être choisis, selon le type de bâtiments, le nombre d'animaux, la topographie naturelle, la pluviométrie, etc. Le principal problème est de déterminer le type d'installation d'entreposage convenant à chaque exploitation et ses dimensions. Le coût est également un facteur important.

- Entreposage et séparation du lisier : l'entreposage du lisier nécessite le stockage et la manipulation de grandes quantités d'eau pendant une bonne partie de l'année. Si le lisier est séparé en fractions liquide et solide, chacune sera gérée séparément. La partie liquide peut être concentrée, fermentée, séchée, utilisée comme milieu hydroponique, ajoutée à l'eau d'irrigation, etc. La partie solide peut

être séchée et entreposée à moindre coût, transformée en compost, ensachée, épandue avec de l'équipement classique, etc.

- Association du lisier avec d'autres déchets dans la fosse à lisier : de nombreux résidus des forêts, des pêches et de l'agriculture peuvent effectivement être combinés au lisier pour en augmenter la stabilité ou pour ajouter des éléments nutritifs au produit final.

Épandage du lisier

- Épandage du lisier à l'automne : lorsque la croissance des cultures cesse à l'automne, l'épandage du lisier risque fort de se traduire par une perte d'éléments nutritifs sous l'action de la pluie, du ruissellement de surface et de la fonte des neiges au printemps. Les producteurs de porcs doivent vider leurs réservoirs à l'automne pour faire de la place en vue de la production de l'hiver et du printemps. Les besoins annuels d'entreposage peuvent atteindre neuf mois dans certaines parties du Canada. Il faut donc recourir à des espèces végétales qui présentent une certaine tolérance au gel et dont la croissance se poursuit tard à l'automne. Il faut en outre déterminer le meilleur moment et la meilleure méthode pour l'épandage du lisier à l'automne.

- Manutention des composants humides et secs du lisier : le choix d'une méthode sera fonction de l'adoption d'un mode de conservation du lisier entier ou d'un mode de conservation du lisier en composants distincts (liquides et solides).

- Effets des conditions pédologiques et de la température sur la perte de composants volatils du lisier : l'effet de la température, du moment du jour, des précipitations à venir, du vent, de l'humidité relative, du type de sol et de sa surface, de la topographie, du type de lisier, de la culture, du type d'équipement d'épandage, de la taille du tracteur, etc., peut influer fortement sur l'efficacité de l'épandage du lisier.

- Adaptation des systèmes d'épandage du lisier aux méthodes culturales de conservation du sol : les méthodes culturales de conservation du sol n'ouvrent pas le sol de sorte que le lisier épandu en surface pourrait être enterré et protégé des facteurs qui favorisent la libération des composants volatils. Des adaptations semblables des techniques d'épandage pour les cultures vivaces, comme les fourrages, sont requises.

- Accumulation de bactéries présentes dans le lisier : l'effet des bactéries d'origine animale ou environnementale qui sont disséminées avec le lisier n'est pas encore bien compris. Ont-elles un effet cumulatif à long terme sur le sol ou sur les cultures? Les pathogènes sont-ils anaérobies et, par le fait même, tués lorsqu'ils sont répandus dans un environnement aérobie? Est-il nécessaire de transformer le lisier en compost pour éviter de réinfecter les animaux nourris de plantes fertilisées avec leur propre lisier?

- Le problème des bactéries doit aussi être envisagé du point de vue de la salubrité des aliments.

L'eau

- Manipuler la partie liquide du lisier : cette partie du lisier contient de grandes quantités d'éléments nutritifs solubles qui sont immédiatement assimilables par les plantes et facilement transportés dans l'environnement par les eaux de surface. À mesure que des procédés de séparation des parties liquide et solide du lisier sont mises au point, des techniques pour le transport et l'épandage de cette partie liquide doivent aussi être élaborées.

- Évaluer la possibilité de migration d'éléments nutritifs solubles et d'autres éléments (Zn, Cu, etc.) vers les eaux souterraines. La plupart des données de base sur le mouvement de l'eau et des produits chimiques dissous dans les différents types de sol sont connues. Elles doivent cependant

être résumées en un format facile à comprendre et présentées aux producteurs afin qu'ils puissent éviter de contaminer les eaux souterraines à leur insu. Une telle démarche tiendra également compte des réserves d'eau potable pour la consommation humaine et du recyclage des éléments nutritifs dans l'élevage du bétail.

- Élaborer des règles de gestion des éléments nutritifs que peuvent contenir les eaux de surface et qui peuvent être entraînés vers des champs voisins, des mares-réservoirs des fermes ou des ruisseaux et des rivières écologiquement vulnérables. Il faut notamment tenir compte du moment de l'épandage, de la capacité d'absorption des sols, du niveau de la nappe phréatique, du taux d'incorporation de l'eau à la matrice du sol, des interactions entre les minéraux, du pH, etc.

CONCLUSION

L'existence d'une production porcine économiquement et écologiquement viable au Canada nécessite l'adoption d'une démarche par systèmes.

- La réduction des émissions de NH_3 par les élevages porcins doit être réalisée dans le cadre d'une approche par systèmes qui tient compte à la fois de la viabilité économique et de la pérennité de l'environnement. L'environnement est en effet menacé par les émissions de NH_3 et de gaz à effet de serre, les odeurs et la détérioration des eaux de surface et souterraines par les nitrates et la DBO. La plupart des installations d'élevage porcin ont été conçues sans que l'on se soucie de disposer d'une méthode rentable de gestion du lisier qui valoriserait les éléments nutritifs de ce dernier et limiterait les dommages à l'environnement. Comme la taille des installations d'élevage porcin augmente au Canada, il est impératif de tenir compte du coût d'une gestion écologique du lisier.

- La réduction des émissions de NH_3 causées par les installations d'entreposage et l'épandage du lisier peut accroître les coûts de production en raison de l'augmentation du coût en capital engendrée par les installations d'entreposage et l'équipement ainsi que du besoin de plus grandes superficies de terres pour épandre le lisier sans accroître le risque de contamination de l'eau souterraine par les nitrates et le phosphore.

- De meilleures stratégies d'alimentation peuvent se traduire par des coûts en aliments légèrement plus élevés, mais peuvent réduire du même coup la quantité de terres nécessaires pour un épandage écologique du lisier.

- La gestion écologique du lisier doit faire partie intégrante de l'équation économique de la production porcine. Une telle approche pourra mener à la mise au point de nouvelles stratégies de production, comme la stabulation en groupe sur de la litière pouvant être transformée en compost et exportée à l'extérieur des exploitations d'élevage intensif. La créativité doit être combinée à une pleine compréhension des répercussions environnementales des systèmes de production.

Membres du groupe de consultation

Les personnes suivantes, membres du groupe de consultation, ont participé à la préparation du présent rapport :

Loraine Bailey, Brandon
Bruce Bowman, London

Katherine Buckley, Brandon
Roy Bush, Nappan
Robert Eilers, Winnipeg
Daniel Massé, Lennoxville
John W. Paul, Agassiz
Vernon Rodd, Nappan
Régis Simard, Sainte-Foy
Christian De Kimpe, éditeur, Ottawa

Bibliographie

LES ODEURS

Aerial Environment in Animal Housing - Concentration in and Emissions from Farm Buildings. Working Group Report Series - No. 94.1.

Al-Kanani, T., Akochi, E., Mackenzie, A.F., Alli, I., et S. Barrington. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. J. Environ. Qual. **21** : 709-715.

Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Misselbrook, T.H., et Pain, B.F. 1995. Odour and ammonia emissions from broiler houses: a farm scale study on the use of De- Odorase© and clinoptilolite zeolite. In : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre, 1995. pp. 56-60.

Anonyme. 1995. Option for Managing Odors. A report from the Swine Odor Task Force, North Carolina Agricultural Research Service, North Carolina State University. 34 pp.

Barrington, S. 1995. Zeolite to control manure odours and nitrogen volatilization. *In :* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 65-68.

Barrington, S., et Moreno, R.C. 1995. Swine manure nitrogen conservation in storage using sphagnum moss. J. Environ. Qual. **24**: 603-307.

Bourque, D., Bisaillon, J.G., Beaudet, R., Sylvestre, M., Ishaque, M., et Morin, A. 1987. Microbiological Degradation of Maladorous Substances of Swine Waste under Aerobic Conditions. Applied and Environmental Microbiology, **53**: 137-141

Bundy, D.S., et Greene, G. 1995. Evaluation of alkaline by-products for the control of swine odours in manure storages. *in :* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 73-76.

Burnett, W.E. 1969. Air pollution from animal wastes. Environ. Sci. Technol. **3** : 744-749.

De Bode, M.J.C. 1990. Odour and Ammonia Emission from Manure Storage. *In* : Nielson, V.C., Voorburg, J.H., L'Hermite, P., éd. Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming. Elservier Applied Science, London. pp. 59-66

Donham K.J., Yeggy, J., et Dague, R.R. 1985. Chemical and Physical Parameters of Liquid Manure from Swine Confinement Facilities: Health Implications for workers, Swine and the Environnement. Agricultural Wastes 14. pp. 97-113

Dorling, T. A. 1977. Measurement of odour intensity in farming situations. Agr. Environ. **3**: 109-120.

Frost, J.P. 1994. Effect of spreading method, application rate and dilution on ammonia volatilization from cattle slurry. Grass For. Sci. **4** : 391-400.

Frus, J.D., Jazen, T.E., et Miner, J. R. 1971. Chemical oxygen demand of gaseous air contaminants. Trans. Am. Soc. Eng. **14** : 837-840.

Goodrich, P.R., Martinez, B.C., McEvoy, T.J., Arbisi, D.S., Conover, S.P., et Lam, R. 1995. Odor reduction in swine manure using bubbleless oxygenation. *In :* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 2-4.

Hammond, E.G., Fedler, C., et Smith, R.J. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. Agric Envir. **6** : 395-401.

Hangartner, M. 1988. Scaling of Odour Intensity. *In* : Measurement of Odour Emissions. Proceeding of a Workshop of the Ad Hoc EEC Group on Odours, Zurich, Suisse, pp. 20-21.

Hartung, J., et Philips, V.R. 1994. Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. J. Agric. Engng Res. **57** : 173-189.

Hobbs, P., Pain, B.F., et Misselbrook, T.H. 1995. Odorous compounds and the emission rates from livestock wastes. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 5-10.

Hodgson, A.S. 1971. The elimination of odour from the effluent gases of a chicken manure drying plant. J. Agric. Engng Res. **16** : 387-393.

Jongebreur, A.A. 1977. Odor problems and odor control in intensive livestock husbandry farms in the Netherlands. Agric. Environ. **3** : 259-265.

Mensch, R.L., Johnson, J., et Nicolai, R.E. 1996. Evaluation of Commercial Manure Additive Odor Control Products in Deep Pit Barns. No de document de l'ASAE 96-4090. Réunion de l'ASAE, à Phoenix, Arizona, 14-18 juillet.

Miner, J., R. 1982. Controlling Odors From Livestock Production Facilities. Published in North Central Regional Research Publication no. 284. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA 50011.

Miner, J. R., et Hongde, P. 1995. A floating permeable blanket to prevent odour escape. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 28-34.

North Carolina Swine Odour Task Force. 1995. Options for managing odor. Report from the Swine Odour Task Force.

O'Neill, D.H., Stewart, I.W., et Phillips, V.R. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings : Part 2, the costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. J. Agric. Engng Res. **51** : 157-165.

O'Neill, D.H., Phillips, V.R. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. J Agric. Engng Res. **53** : 23-50.

Ontario Best Management Practices. 1994. Livestock and Poultry Waste Management.

Pain, B.F., Misselbrook, T.H., et C.R. Clarkson. 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically digested pig slurry on grassland. Biol. Wastes, **34** : 259-267.

Phillips, V.R., Holden, M.R., White, R.P., Sneath, R.W., Demmers, T.G.M., Wathes, C.M. 1995. Measuring and Reducing Gaseous and Particulate air Pollution from UK Livestock Buildings. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Waste. ASAE, 241-251.

Ritter, W.F., et Eastburn, R.P. 1980. Odor control in liquid swine and dairy manure with commercial products. Canadian Agricultural Engineering, **22** : 117-118.

Rom, H.B. 1993. Ammonia Emmission from Livestock Buildings in Denmark. Livestock environment IV, Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. ASAE, 1161-1169.

Schmitt, M.A., Evans, S.D., et Randall, G.W., 1995. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. J. Prod. Agric. **2** : 186-189.

Smith, R.J. 1993. Dispersion of odours from Ground Level Agricultural Sources. J. Agric. Engng Res.

54 : 187-200.

Stephens, E.R. 1971. Identification of odours from cattle feedlots. Calif. Agric. **25** : 10-11.

Sutton, A.L., Kephart, K.B., Patterson, J.A., Mumma, R., Kelly, D.T., Bogus, E., Jones, D.D., et Heber, A. 1995. Changing nitrogen levels in swine diets to reduce odors. *In :* Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 127-130.

Sweeten, J.M. 1989. Odor Measurement Technology and Applications : A State of the art Review. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes. ASAE, 214-299.

Thomas, E.D. 1996. All about odours. *In :* Animal Agriculture and the Environment. Proceedings from the Animal Agriculture and the Environment North American Conference. Rochester, New York, 11-13 décembre 1996. pp. 214-219.

Waburton, D.J., Scarborough, J.N., Day, D.L., Mueling,A.J., Curtis, S.E., et Jensen, A.H. 1980. Evaluation of commercial products for odor control and solids reduction of liquid swine manure. In : Livestock Waste: A renewable resource, Proceedings, 4th International Symposium on livestock Wastes, Amarillo, Texas. pp. 201-203.

Welsh, F.W., Schulte, D.D., Kroeker, E.J., et H.M. Lapp. 1977. The effect of anaerobic digestion upon swine manure odors. Can. Agric. Eng. **19** : 122-126.

Yasuhara, A., et K. Fuwa. 1983. Isolation and analysis of odorous components in swine manure. J. Chrom. **281** : 225-236.

Yasuhara A., Fuwa, K., et Jimbu, M. 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. Agric. Biol. Chem. **48** : 3001-3010.

LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC

Aasman, W.A., Pinksterboer, E.F., Maas, H.F., Erisman, J.W., Waijers-Ypelaan, A., Slanina, J., et Horst, T.W. 1989. Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: Model results and measurements. Atmos. Environ. **23** : 2259.

Aasman, W.A.H., Hertel, O., Berkowiz, R., Christensen, J., Runge, E.H., Sorenson, L.L., Granby, K., Nielsen, H., Jensen, B., Gryning, S.E., Sempreviva, A.M., Larsen, S., Hummelshoj, P., Hensen, N.O., Allerup, P., Jorgensen, J., Madsen, H., Ivergaard, S., et Vejen, F. 1995. Atmospheric input to the Kattegat Strait. Institut national de recherches, Roskilde, Danemark.

Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A.F., Alli, I., et Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. J. Environ. Qual. **21** : 709-715.

Amon, M., Dobeic, M., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., Phillips, V.R., et Sneath, R.W. 1995. A farm scale study on the use of De-Odorase© for reducing odor and ammonia emission from intensive fattening piggeries. Bioresource Technology, **51** : 163-169.

Andersson, M. 1995. Cooling of manure in manure culverts. A method of reducing ammonia emissions in pig buildings. Institut de technologie et des biosystèmes agricoles de Specialmeddelande, Université suédoise d'agronomie, Lund, Suède.

Berendse, F, Laurijsen, C., et Okkerman, P. 1988. The acidifying effect of ammonia volatilized from farm manure on forest soils. Ecol. Bull. **39** : 136-138.

Brewer, R.L., Gordon, J., et Shepard, L.S. 1983. Chemistry of mist and fog from the Log Angeles urban area. Atmos. Environ. **17** : 2267-2270.

Burton, D.L., et Beauchamp, E.G. 1986. Nitrogen losses from swine housings. Agricultural Wastes, **15** : 59-64.

Derikx, P.J.L., et Aarnink, A.J.A. 1993. Reduction of ammonia emission from slurry by application of liquid top layers. *In* M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempenet J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.

Gaider, K.M. 1997. Analysis of atmospheric ammonia as a potential atmospheric toxin. Direction de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.

Groenestein, C.M. 1993. Animal waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *In* : E. Collins and C. Boon, éd. Livestock Environment IV. Proceedings of a conference held in Coventry, UK. ASAE. St. Joseph, MI.

Hendriks, J.G.L., den Brok, G.M., et Voermans, M.P. 1995. Farrowing pens with low ammonia emission. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.134. Rosmalen, Pays-Bas.

Hendriks, J.G.L., et Vrielink, M.G.M. 1996. Acidification of fattening pig manure with organic acids. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.148. Rosmalen, Pays-Bas.

Hoeksma, P., Verdoes, N., Oosthoek, J., et Voermans, J. 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. Livestock Prod. Sci. **31** : 121-132.

Hoff, J.D., Nelson, D.W., et Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. J. Environ. Qual. **10** : 90-95.

Horlacher, D., et Marschner, H. 1990. Schatzrahmen zur beurteilung von ammoniakverlusten nach ausbringung von rinderflussigmist. Z. Pflanzenernahr. Bodenk. **153** : 107-115.

Katzel, R., Einert, P., Patz, G., Ritter, G., et Strohbach, B. 1995. Recovery of Scots pine stands near the former area of nitrogen emission at Lichterfelde/Britz. I. Air quality, soil conditions, vegetation and nutrient status of Scots pine stands. Beitrage fur Forstwirtschaft und Landschaftsokologie, **29** : 5-9.

Kreuzer, M., et Machmuller, A. 1993. Reduction of gaseous nitrogen emission from pig manure by increasing the level of bacterially fermentable substrates in the ration. *In* M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempenet J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.

Latimer, P., et Dourmad, J.Y. 1993. Effect of three protein strategies for growing-finishing pigs on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. *In* : M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen et J.H.M. Metz, éditeurs. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.

Liao, P.H., Chen, A., et Lo, K.V. 1995. Removal of nitrogen from swine wastewaters by ammonia stripping. Bioresource Technology, **54** : 17-20.

Lockyer, D.R., Pain, B.F., et Klarenbeek, J.V. 1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. Environ. Pollution, **56** : 19-30.

Moal, J.F., Martinez, J., Guiziou, F., et Coste, C.M. 1995. Ammonia volatilization following surface applied pig and cattle slurry in France. J. Agric. Sci. **125** : 245-252.

Muck, R.E., et Steenhuis, T.S. 1981. Nitrogen losses in free stall dairy barns. In Proc. 4th Int. Symp. Livestock Wastes ASAE, St. Joseph, Mich. pp. 406-409.

Pain, B.F., Phillips, V.R., Clarkson, C.R., et Klarenbeek, J.V. 1989. Loss of nitrogen through

ammonia volatilization during and following application of pig or dairy slurry to grassland. J. Sci. Food Agric. **47** : 1-12.

Paul, J.W., et Beauchamp, E.G. 1995. Nitrogen flow on two livestock farms in Ontario: a simple model to evaluate strategies to improve N utilization. J. Sustainable Agriculture, **54** : 35-50.

Paul, J.W., Scott, T.A., et Barton, P.K. 1997. Ammonia emissions and nitrogen balances during poultry broiler production. Pacific Agriculture Research Centre Technical Rep. 133. Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Robertson, A.M., et Galbraith, H. 1971. Effect of ventilation on the gas concentration in a part-slatted piggery. Farm Building R & D Studies. (May 1971), pp. 17-28.

Rom, H.B. 1993. Ammonia emissions from livestock buildings in Denmark. *In* : E. Collins and C. Boon, eds. Livestock Environment IV. Compte rendu d'une conférence tenue à Coventry, R.-U. ASAE. St. Joseph, MI.

Schulze, E.D., de Vries, W., Hauhs, M., Rosen, K., Rasmussen, L., Tamm, S.O., et Nilsson, J. 1989. Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. Water Air Soil Pollut. **48** : 451-456.

Sommer, S.G., Christensen, B.T., Nielsen, N.E., et Schjorring, J.K. 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. J. Agric. Sci. **121** : 63-71.

Sommer, S.G., Mikkelsen, H., et Mellqvist, J. 1995. Evaluation of meterological techniqes for measurement of ammonia loss from pig slurry. Agric. and Forest Meteorology, **47** : 169-179.

Ter Elste Wahle, E.R., et den Brok, G.M. 1996. Ammonia emission in a fattening pig house with application of a liquid top layer on the slurry. Rapport annuel du Centre de recherches en production porcine, No. 1.146. Rosmalen, Pays-Bas.

Thompson, R.B., Ryden, J.C., et Lockyer, D.R. 1990. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. I. Influence of mechanical separation, changes in chemical composition during volatilization and presence of a grass sward. Plant and Soil, **125** : 109-118.

Van Cuyck, J., den Brok, G., et Verdoes, N. 1993. Slurry pan: on the fire or in the pig house? Praktijkonderzoek Varkenshouderij, **7** : 13-15.

Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment et handling. In Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes, ASAE Pub. Proc-275, ASAE, St. Joseph, MI. pp. 282-285.

Van der Molen, J., Van Fassen, H.G., Leclerc, M.Y., Vriesma, R., et Chadon, W.J. 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. I. Field estimates. Neth. J. Agric. Sci. **38** : 145-158.

Vander Peet Schwering, C.M.C., Verdoes, N., Voermans, M.P., et Beelen, G.M. 1996. Effect of feeding and housing on the ammonia emission of growing and finishing pig facilites. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.145. Rosmalen, the Netherlands.

Verboon, M.C., et Mandersloot, F. 1993. Practical possibilities for using a straw casing as covering for slurry silos. Praktijkonderzoek, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij and Paardenhouderij. No. 1.

Zebarth, B.J., Paul, J.W., Kowalenko, C.G., et van Kleeck, R. 1997. Estimation of the impact of agricultural production on water and air quality on a regional basis. (Manuscrit en cours de préparation, Pacific Agri-Food Research Centre, Agriculture et Agroalimentaire Canada).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1997. Sector Profile of Production, Trends and Environmental Issues.

Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A. F., Alli, I., et Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. Journal of Environmental Quality, **21** : 709-715.

Alberta Agriculture. 1984. Swine manure as fertilizer. Agdex-440/27-1. Alberta Agriculture, Edmonton, Canada.

Azevedo, J., et Stout, P. R. 1974. Farm animal manures: an overview of their role in the agricultural environment. Manual 44. California Agricultural Experiment Station Extension Service. p. 109.

Baidoo, S.K. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. p.161-168.

Barnett, G.M., et Pesant, A.R. 1996. The swine industry at the forefront of environment issues, Compte rendu du symposium, Saint-Hyacinthe, Québec. pp. 1-9.

Beauchamp, E.G. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. Can. J. Soil Sci. **63** : 377-386.

Beauchamp, E.G., Kidd, G. E., et Thurtell, G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. Can. J. Soil Sci. **62** : 11-19.

Bernal, M.P., et Kirchmann, H. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. Biology and Fertility of Soils, **13** : 135-141.

Brumm, M.C., et Sutton, A.L. 1979. Effect of copper in swine diets on fresh waste composition and anaerobic decomposition. J. Animal Sci. **49** : 20-25.

Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Cummings, G.A., Overcash, M.R., et Goode, L. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: I. Forage yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **14** : 9-14.

Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Overcash, M.R., et Cummings, G.A. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture: I. Persistence, yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **16** : 99-105.

Burns, J.C., King, L.D., et Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' Bermudagrass: I. Yield, quality, and elemental removal. Journal of Environmental Quality, **19** : 749-756.

Burton, D.L., Younie, M.F., Beauchamp, E.G., Kachanoski, R.G., et Loro, P. 1994. Impact of manure application on nitrate leaching to groundwater. *In* : Proc. 37th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Dept. of Soil Sci., University of Manitoba, Winnipeg. Canada. 190-201.

Chase, C., Duffy, M., et Lotz, W. 1991. Economic impact of varying swine manure application rates on continuous corn. Journal of Soil and Water Conservation, **46** : 460- 464.

Elson, J. 1941. A comparison of the effect of fertilizer and manure, organic matter, and carbon-nitrogen ratio on water-stable soil aggregates.Soil Sci. Soc.Am. Proc.**6** : 86-90.

Evans, S.D., Goodrich, P.R., Munter, R.C., et Smith, R.E. 1977. Effects of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristics and on growth, yield, and composition of

corn. Journal of Environmental Quality, **4** : 361-368.

Ewanek, J. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp. 93-100

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1993. FAO Agrostat PC. Série informatique de la FAO. Production. Rome, 1993.

Franco, D., Pereilli, M., et Scallolin, M. 1996. Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, their Processes and Potential in Water Protection, Heythrop, R.-U.

Freeze, B.S., et Sommerfeldt, T.G. 1985. Breakeven hauling distances for beef feedlot manure in southern Alberta. Can. J. Soil Sci. **65** : 687-693.

Gilbertson, C.B., Van Dyne, D.L., Clanton, C.J., et White, R.K. 1979. Estimating quantity and constituents in livestock and poultry manure residue as reflected by management systems. Transactions of the ASAE, **22** : 602-611.

Hafez, A.A.R. 1974. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. Soil Science, **118** : 53-59.

Hilborn, D. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. p.101-105.

Hoff, J.D., Nelson, D.W., et Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. Journal of Environmental Quality, **10** : 90-95.

Humenik, F.J., Skaggs, R.W., Willey, C.R., et Huisingh, D. 1972. Evaluation of swine waste treatment alternatives. *In* Waste Management Research. Graphics Corporation, Washington, D. C. pp. 341-352.

Khan, N. 1996. Feed Mix, **4** :22-25.

King, L.D., Westerman, P.W., Cummings, G.A., Overcash, M.R., et Burns, J.C. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: II. Effects on soil. Journal of Environmental Quality, **14** : 14-21.

King, L.D., Burns, J.C., et Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. Journal of Environmental Quality, **19** : 756-760.

Klausner, S.D., et Guest, R.W. 1981. Influence of NH_3 conservation from dairy manure on the yield of corn. Agronomy Journal, **73** : 720-723.

Kornegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C., et Kramer, C.Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. Plant and Soil, **45** : 151-162.

Larson, B.G. 1991. Saskatchewan pork industry manure management recommendations. Saskatchewan Pork Producers' Marketing Board, Saskatoon, SK. pp. 30.

Lauer, D.A., Bouldin, D.R., et Klausner, S.D. 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. Journal of Environmental Quality, **5** : 134-141.

Long, N.J., et Gracey, H.I. 1990. Herbage production and nitrogen recovery from slurry injection and fertilizer nitrogen application. Grass and Forage Science, **45** : 77-82.

Lorenz, F., et Steffens, G. 1992. Agronomically efficient and environmentally careful slurry application to arable crops. Aspects of Applied Biology, **30** : 109-116.

McEachron, L.W., Zwerman, P.J., Kearl, C.D., et Musgrave, R.B. 1969. Economic return from

various land disposal systems for dairy cattle manure. *In* : Animal Waste Management. Proceedings Cornell University Waste Management Conference 13-15 Jan. 1969. Syracuse, N.Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 393-400.

McKenna, M.F., et Clark, J.H. 1970. The economics of storing, handling and spreading of liquid hog manure for confined feeder hog enterprises. *In* : Relationship of agriculture to soil and water pollution. Proc. Cornell Un. Agr. Waste Management Conference 19-21 Jan. 1970. Rochester, N. Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 98-110.

Menzies, J.D., et Chaney, R.L. 1974. Waste Characteristics. *In* : Factors Involved in Land Application of Agricultural and Municipal Wastes. USDA, ARS.

Miller, P.L., et MacKenzie, A.F. 1978. Effects of manures, ammonium nitrate and S-coated urea on yield and uptake of N by corn and on subsequent inorganic N levels in soils in southern Quebec. Can. J. Soil Sci. **58** : 153-158.

Pet□lková, V. 1992. Hnojení p□ biologické rekultivaci d□lních výsypek a slo□□ popel□ (Fertilizer for biological reclamation of mine spoil and ash dumps). Rostlinná Výroba, **38**: 327-335.

Powers, W.K., Wallingford, G.W., et Murphy, L.S. 1975. Research status on effects of land application on animal wastes. Environmental Protection Technology Series, EPA 660/2-75-010. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. pp. 44-46.

Pries, J. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp.119-126.

Richards, J.E., et Martel, Y.A. 1991. Agronomic management of manure - A position paper. *In* : Expert Committee on Soil and Water Management. Station de recherches, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton, N.-B. Canada.

Safley, L.M., Jr., Lessman, G.M., Wolt, J.D., et Smith, M.C. 1981. Comparisons of corn yields between broadcast and injected applications of swine manure slurry. *In* : Livestock Waste: a renewable resource. Proc. Int. Symposium on Livestock Wastes, Amarillo, Texas 15-17 Apr. 1980. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. pp. 178-180.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. J. Environ. Qual. **24** :1010- 1017.

Simard, R.R., Hamel, C., et Garand, M.J. 1996. The swine iIndustry at the forefront of environment issues, Compte rendu du symposium, Saint-Hyacinthe, Québec. pp. 31-41.

Sommerfeldt, T.G., et Chang, C. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. Soil Sci. Soc. Amer. J. **49** : 983-987.

Sutton, A.L., Mayrose, V.B., Nye, J.C., et Nelson, D.W. 1976. Effect of dietary salt level and liquid handling systems on swine waste composition. J. Animal Sci. **43** : 1129-1134.

Sutton, A.L., Nelson, D.W., Mayrose, V.B., et Nye, J.C. 1978. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. Journal of Environmental Quality, **7** : 325-333.

Sutton, A.L., Nelson, D.W., Hoff, J.D., et Mayrose, V.B. 1982. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. Journal of Environmental Quality, **11** : 468-472.

Sutton, A.L., Melvin, S.W., et Vanderholm, D.H. 1984. Fertilizer value of swine manure. AS-453. Iowa State Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. 6 pp.

Sutton, A.L, Nelson, D.W., Mayrose, V.B., Nye, J.C., et Kelly, D.T. 1984. Effects of varying salt

levels in liquid swine manure on soil composition and corn yield. Journal of Environmental Quality, 13 : 49-59.

Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G., et Rompré, M. 1990. Rapport synthèse, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Tiarks, A.E., Mazurak, A.P., et Chesnin, L. 1974. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. Soil Sci. Soc.Am. Proc. **38** : 826-830.

Unger, P.W., et Stewart, B.A. 1974. Feedlot waste effects on soil conditions and water evaporation. Soil Sci. Soc.Am. Proc. **38** : 954-957.

Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment and handling. *In* : Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symposium on Livestock Wastes, Urbana-Champaign, Ill. 21-24 Apr. 1975. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. pp. 282-285

Wallace, H.D., McCall, J.T., Bass, B., et Combs, G.E. 1960. High level copper for growing-finishing swine. J. Animal Sci. **19** : 1153-1163.

Warman, P.R. 1986. Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge on timothy and soils. Journal of Environmental Quality, **15** : 95-100.

Webber, L.R., Lane, T.H., et Nodwell, J.H. 1968. Guidelines to land requirements for disposal of liquid manure. Paper presented at the 8th Ind. Water and Wastewater Conf., Lubbock, Texas (June 6-7, 1968). pp. 13 pp.

Weil, R.R., et Kroontje, W. 1979. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. Journal of Environmental Quality, **8** : 387-392.

Westerman, P.W., Overcash, M.R., Evans, R.O., King, L.D., Burns, J.C., et Cummings, G.A. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: III. Irrigation and rainfall runoff. Journal of Environmental Quality, **14** : 22-25.

Williams, R.J.B., et Cooke, G.W. 1961. Some effects of farmyard manure and of grass residues on soil structure. Soil Science, **92** : 30-39.

Xie, R., et MacKenzie, A.F. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. Soil Sci. Soc. Amer. J. **50** : 1504-1509.

Zhu, Y.M., Berry, D.F., et Martens, D.C. 1991. Copper availability in two soils amended with eleven annual applications of copper-enriched hog manure. Communications in Soil Science & Plant Analysis, **22** : 769-783.

LE PHOSPHORE

Barnett, G.M. 1996. Animal Waste in Canada. *In* : C. Chang, ed. Proc. Can. Soc. of Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 28-45.

Beauchemin, S., Simard, R.R., et Cluis, D. 1996. Phosphorus sorption-desorption kinetics of soil under contrasting land uses. Journal of Environmental Quality, **25** :1317-1325.

CPVQ. 1995. Coefficients d'efficacité des engrais de ferme. Bulletin technique 22. AGDEX 538. Québec, QC, 18 pp.

Gangbazo, G., Pesant, A.R., et Barnett, G.M. 1997. Effet de l'épandage des engrais minéraux et de grandes quantités de lisier de porc sur l'eau, le sol et les cultures. Rapport de Recherche, Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec,

Québec, QC. 46 pp.

Grimard, Y. 1990. Qualité générale de l'eau au Québec. *In* : "Colloque sur la qualité de l'eau en milieu agricole . Conseil des productions végétales du Québec, Québec, QC. pp. 24-37.

Ordre des Agronomes du Québec. 1996. Mise à jour sur le projet de règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole. 96-03-28. 6 pp.

Patoine, M. 1995. Perspectives et approche du Québec pour faire face à la problématique environnementale associée à l'intensification et la concentration des élevages. In : Siting livestock and poultry operations in the 21th Century Symposium, July 13-14 Ottawa, Canada.pp. 45-62.

Simard, R.R. 1996. Manure management in Québec: the urgent need for solutions. *In* : C. Chang (ed.) Proc. Can. Soc. Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 65-80.

Simard, R.R. 1997. Étude de la qualité de l'eau, des sédiments et des sols du bassin-versant de la rivière Boyer. Rapport préliminaire, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 17 pp.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Pesant, A. 1994. Phosphorus in the Beaurivage River Watershed. *In* : R.N. Yong (ed.) Compte rendu del a conférence nationale conjointe de la SCGC-ASCE sur le génie environnemental, Montréal, QC. pp. 509-516.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. Journal of Environmental Quality, **24** :1010-1017.

Simard, R.R., Drury, C.F., et Lafond, J. 1996. Cropping effects on phosphorus leaching in clay soils. Better Crops with Plant Food, **80** : 24-27.

Simoneau, M. 1996. Qualité des eaux du bassin de la rivière Châteauguay, 1979 à 1994. Direction des écosystèmes aquatiques. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec, QC.

Sims, J.T., Simard, R. R., et Joern, B. C. 1997. Phosphorus losses in agricultural drainage: historical perspective and current research. Journal of Environmental Quality **26** : (sous presse).